

**ASSESMENT BIOMEKANIKA PADA PERANCANGAN  
ALAT BANTU UNTUK PERBAIKAN POSTUR TUBUH  
PEKERJA PENGHALUSAN  
BENDA KERJA PULLEY DI STASIUN KERJA FINISHING  
INDUSTRI PENGECORAN LOGAM  
(Studi Kasus : PT. Bonjor Jaya, Kurungbaru, Batur, Ceper, Klaten)**

Tugas akhir



**HARY PRASTOWO**  
I 1306009

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2010**

*commit to user*

**ABSTRAK**

**Hary Prastowo. NIM I1306009. ASSESSMENT BIOMEKANIKA PADA PERANCANGAN ALAT BANTU UNTUK PERBAIKAN POSTUR TUBUH PEKERJA PENGHALUSAN BENDA KERJA PULLEY DI STASIUN KERJA FINISHING INDUSTRI PENGECORAN LOGAM (studi kasus: pt. bonjor jaya, kurungbaru, batur, ceper, klaten). Skripsi. Surakarta: Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Desember 2010.**

Industri pengecoran logam merupakan salah satu industri yang sedang berkembang di Indonesia. Perkembangan industri logam di Indonesia dipengaruhi adanya kebutuhan masyarakat atas hasil coran logam. Penghalusan merupakan salah satu aktivitas yang penting dan sering dilakukan di industri pengecoran. Pada PT. Bonjor Jaya, aktivitas penghalusan dilakukan operator secara manual dan berulang-ulang. Benda kerja yang dihaluskan yaitu berupa *pulley* dengan menggunakan *mesin gerinda tangan*. Setiap operator melakukan aktivitas penghalusan secara berulang-ulang sebanyak 10 kali dalam waktu 2 jam. Aktivitas penghalusan dengan menggunakan gerinda tangan dan meja dudukan yang cenderung menghasilkan posisi punggung membungkuk, serta posisi tubuh yang statis. Akibatnya operator yang bekerja di stasiun ini pada umumnya mengalami keluhan *musculoskeletal*. Keadaan ini beresiko menimbulkan cedera kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain alat bantu penghalusan dan memperbaiki postur pekerja operator saat melakukan aktivitas penghalusan sesuai dengan biomekanik

Pada penelitian ini dilakukan identifikasi keinginan dan harapan dari operator pada stasiun penghalusan melalui wawancara dan hasilnya diterjemahkan menjadi kebutuhan dan menjadi konsep perancangan alat bantu penghalusan, yaitu berupa meja dudukan benda kerja *pulley*. Tahapan kedua adalah melakukan *assesment* tiap segmen tubuh operator dengan metode *local reference system*, Tahapan ketiga adalah mendesain ulang alat bantu penghalusan berupa meja dudukan benda kerja *pulley*, Tahapan keempat mensimulasikan alat hasil rancangan ulang, dan Tahapan kelima melakukan *assesment* kembali tiap segmen tubuh operator dengan metode *local reference system*.

Perancangan fasilitas kerja setelah perbaikan berupa meja dudukan benda kerja *pulley*. Perancangan meja ini dapat dinyatakan bahwa terdapat pengurangan gaya dan perbaikan postur kerja operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan, sehingga operator berada dalam kondisi yang aman.

Kata kunci: Alat bantu meja dudukan, Benda kerja *pulley*, Biomekanik.

xviii + 125 halaman.; 85 gambar; 20 tabel

Daftar pustaka: 16 (1975 - 2010) *commit to user*

## ABSTRACT

**Hary Prastowo.NIM I1306009.ASSESSMENT BIOMECHANICS TO DESIGN TOOLS AND REPAIR OF BODY POSTURE THING RAREFACTION WORKERS OF MATERIAL PULLEY IN FINISHING WORK STATION METAL CASTING INDUSTRY. Final Assignment. Surakarta: Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University, December 2010.**

Metal casting industry is one industry that is growing in Indonesia. The development of metal industries in Indonesia affected the people's needs above the metal castings. Smoothing is one important activity and is often done in the foundry industry. PT. Bonjor Jaya's smoothing activities was performed manually operator and repeatedly. The material workpi ece which is a pulley using hand grinding machines. Each operator performs smoothing activity repeated 10 times within 2 hours. Smoothing activity using hand grinders and table stand that tend to produce bent back as well as static body position. As a result, operators who work at this station generally suffer musculoskeletal complaints. This situation is likely to cause injury work. This research aims to design a tool grinding and repair service worker posture when performing activities in accordance with the biomechanical rarefaction

In this research, identifying the wishes and hopes of smoothing operators on the station through the interviews and the results are translated into the need and a concept design tool of refinement, namely the form of the workpiece mounting table pulley. Second stage is to conduct assessment of each body segment using a local operator reference system, the third step is to redesign the smoothing tool in the form of tables workpiece holder pulley, the fourth stage resimulate the design tool, and the fifth stage to re-assessment of each body segment operator method local reference system.

The design of the facility after the repair of the workpiece mounting table pulley. The design of this table can be stated that there is a reduction in work force and improve posture while doing the activity operator at smoothing, so that operators are in a safe condition.

Key word: Local reference system, The tool holder table workpiece pulley.

*xviii + 125 page.; 85 pictures; 20 tables*

*Reference: 16 (1975 - 2010)*

*commit to user*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR VALIDASI .....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH .....</b>	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-4
1.4 Manfaat Penelitian.....	I-4
1.5 Batasan Masalah.....	I-4
1.6 Asumsi Penelitian.....	I-4
1.7 Sistematika Penulisan.....	I-5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Human Motion.....	II-1
2.1.1 Perspektif Analisis Gerakan Manusia .....	II-1
2.1.2 Gerakan Dasar Anggota Gerak Bawah Manusia.....	II-3
2.2 Human Locomotion.....	II-5
2.2.1 Human Locomotion.....	II-5
2.2.2 Fase Gait Cycle.....	II-7
2.2.3 Gait Training .....	II-8

2.3 Keseimbangan Gerakan Biomekanika .....	II-13
2.3.1 Keseimbangan Gerakan Manusi.....	II-13
2.3.2 Torsi.....	II-14
2.3.3 Usaha dan Energi.....	II-15
2.3.4 Sintesis Pergerakan Manusia.....	II-18
2.4 Gerakan Berjalan Amputee .....	II-19
2.5 Prosthetic Atas Lutut .....	II-20
2.5.1 Komponen Prosthetic Atas Lutut .....	II-21
2.5.2 Energy Storing Prosthetic Knee .....	II-25
2.6 Batasan Amputee Pada Bidang Tangga .....	II-27
2.6.1 Bidang Tangga.....	II-28
2.7 Penelitian Sebelumnya .....	II-30

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Identifikasi Masalah .....	III-2
3.2 Pengumpulan Data.....	III-4
3.3 Pengolahan Data.....	III-9
3.4 Analisis dan Interpretasi Hasil.....	III-10
3.5 Kesimpulan dan Saran.....	III-11

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

4.1 Pengumpulan Data.....	IV-1
4.1.1 Data Responden Pengguna Prosthetic Kaki Atas Lutut ..	IV-1
4.1.2 Model Prosthetic Atas Lutut dengan Energy Storing Prosthetic Knee.....	IV-3
4.1.3 Siklus Berjalan (Gait Cycle) Amputee pada Bidang Naik- Turun Tangga .....	IV-6
4.2 Permodelan Siklus Berjalan Naik-Turun Tangga.....	IV-8
4.2.1 Fase Mengayun (Swing Phase) Saat Naik Tangga.....	IV-9
4.2.2 Fase Berdiri (Stance Phase) Saat Naik Tangga .....	IV-18
4.2.3 Fase Mengayun (Swing Phase) Saat Turun Tangga.....	IV-28
4.2.4 Fase Berdiri (Stance Phase) Saat Turun Tangga .....	IV-38

*commit to user*

4.3 Pengolahan Data .....	IV-48
4.3.1 Menentukan Besarnya Massa Tiap Segmen Tubuh, Titik Berat Segmen Kaki, dan Momen Inersia Pengguna Prosthetic Atas Lutut.....	IV-48
4.3.2 Perhitungan External Work, Komponen-Komponen External Work, dan Energi Dalam 1 Siklus Berjalan.....	IV-51

## **BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL**

5.1 Analisis .....	V-1
5.1.1 Analisis Gait Training Pada Gerakan Naik Tangga .....	V-1
5.1.2 Analisis Gait Training Pada Gerakan Turun Tangga .....	V-4
5.2 Interpretasi Hasil .....	V-6

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan.....	VI-1
6.2 Saran.....	VI-1

## **DAFTAR PUSTAKA**



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pemodelan distribusi berat badan .....	II-14
Tabel 4.1	Anthropometri pengguna prosthetic kaki atas lutut .....	IV-2
Tabel 4.2	Komponen-komponen energy storing prosthetic knee .....	IV-4
Tabel 4.3	Dimensi prosthetic kaki atas lutut ESPK .....	IV-6
Tabel 4.4	Pemodelan distribusi berat badan .....	IV-48
Tabel 4.5	Massa segmen tubuh .....	IV-49
Tabel 4.6	Panjang titik berat segmen kaki .....	IV-50
Tabel 4.7	Momen inersia segmen kaki .....	IV-51
Tabel 4.8	Data besaran .....	IV-52
Tabel 4.9	Kecepatan linear dan angular swing phase saat naik tangga .....	IV-53
Tabel 4.10	Percepatan linear dan angular swing phase saat naik tangga .....	IV-53
Tabel 4.11	Kecepatan linear dan angular pada saat stance phase .....	IV-59
Tabel 4.12	Percepatan linear dan angular pada saat stance phase .....	IV-60
Tabel 4.13	Kecepatan linear dan angular swing phase .....	IV-64
Tabel 4.14	Percepatan linear dan angular pada saat swing phase .....	IV-64
Tabel 4.15	Kecepatan linear dan angular pada saat stance phase .....	IV-69
Tabel 4.16	Percepatan linear dan angular pada saat stance phase .....	IV-70
Tabel 4.17	Besarnya external work dan komponennya saat naik tangga .....	IV-75
Tabel 4.18	Besarnya external work dan komponennya saat turun tangga .....	IV-75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Posisi anatomi manusia .....	II-2
Gambar 2.2	Flexion dan extensi.....	II-3
Gambar 2.3	Kelompok otot anggota gerak bawah .....	II-4
Gambar 2.4	Abduction dan adduction.....	II-4
Gambar 2.5	Rotasi persendian lutut .....	II-4
Gambar 2.6	Pembagian gait cycle .....	II-6
Gambar 2.7	Siklus pola jalan (gait cycle) .....	II-6
Gambar 2.8	Diagram waktu gait .....	II-7
Gambar 2.9	Gait training tahap weight-bearing and balance exercises .....	II-9
Gambar 2.10	Training tahap Specific gait-training exercises .....	II-9
Gambar 2.11	Training tahap advance training .....	II-10
Gambar 2.12	Training tahap functional exercise .....	II-11
Gambar 2.13	Training tahap functional exercise .....	II-11
Gambar 2.14	Training tahap functional exercise .....	II-12
Gambar 2.15	Tubuh sebagai sistem enam link dan joint.....	II-13
Gambar 2.16	Permodelan titik-titik pusat massa Dempster.....	II-14
Gambar 2.17	Sebuah momen .....	II-16
Gambar 2.18	Usaha oleh gaya konstan .....	II-18
Gambar 2.19	Amputee dalam gait training .....	II-21
Gambar 2.20	Prosthetic kaki atas lutut.....	II-22
Gambar 2.21	Komponen prosthetic atas lutut .....	II-23
Gambar 2.22	Sistem suspensi.....	II-23
Gambar 2.23	(a) Eksoskeletal shank, (b) Endoskeletal shank .....	II-25
Gambar 2.24	SACH foot .....	II-26
Gambar 2.25	XT9 Energy storing prosthetic knee.....	II-28
Gambar 2.26	Amputee gait on staircase .....	II-29
Gambar 2.27	Tangga .....	II-30
Gambar 2.28	Rancangan tangga.....	II-31
Gambar 3.1	Metodologi Penelitian .....	III-1
Gambar 3.2	Alat ukur, (a) Timbangan badan, (b) Meteran.....	III-5



Gambar 3.3	Force gauge .....	III-6
Gambar 3.4	Bidang tangga.....	III-7
Gambar 3.5	Video kamera.....	III-7
Gambar 3.6	(a) Electrogoniometer Rf, (b) Receiver digital.....	III-8
Gambar 4.1	Energy storing prosthetic knee .....	IV-4
Gambar 4.2	Gas spring.....	IV-4
Gambar 4.3	(a) Prosthetic endoskeletal sistem energy storing prosthetic knee mekanisme 2 bar, (b) Amputee atas lutut.....	IV-5
Gambar 4.4	Ankle joint mekanisme double axis .....	IV-5
Gambar 4.5	Fase gait training saat berjalan naik tangga, (a) swing phase, (b) stance phase.....	IV-7
Gambar 4.6	Fase gait training saat berjalan turun tangga, (a) swing phase, (b) stance phase.....	IV-7
Gambar 4.7	Fase mengayun saat naik tangga .....	IV-10
Gambar 4.8	Stick diagram fase mengayun kaki prosthetic .....	IV-10
Gambar 4.9	Stick diagram fase mengayun kaki normal .....	IV-15
Gambar 4.10	Fase berdiri saat naik tangga .....	IV-19
Gambar 4.11	Stick diagram fase berdiri kaki prosthetic .....	IV-19
Gambar 4.12	Stick diagram fase berdiri kaki normal .....	IV-23
Gambar 4.13	Fase mengayun saat turun tangga.....	IV-28
Gambar 4.14	Stick diagram fase mengayun kaki prosthetic .....	IV-29
Gambar 4.15	Stick diagram fase mengayun kaki normal .....	IV-34
Gambar 4.16	Fase berdiri saat turun tangga.....	IV-38
Gambar 4.17	Stick diagram fase berdiri kaki prosthetic .....	IV-39
Gambar 4.18	Stick diagram fase berdiri kaki normal .....	IV-43
Gambar 4.19	Peta titik pusat massa Dempster .....	IV-50
Gambar 4.20	Grafik perbandingan nilai T1 saat naik dan turun tangga .....	IV-76
Gambar 4.21	Grafik perbandingan nilai T2 saat naik dan turun tangga .....	IV-76
Gambar 4.22	Grafik perbandingan nilai T3 saat naik dan turun tangga .....	IV-77
Gambar 4.23	Grafik perbandingan nilai Fx saat naik dan turun tangga.....	IV-77
Gambar 4.24	Grafik perbandingan nilai Fy saat naik dan turun tangga.....	IV-78
Gambar 4.25	Grafik perbandingan nilai W saat naik dan turun tangga .....	IV-78

- Gambar 5.1 Grafik rekapitulasi nilai torsi pada saat amputee naik tangga ..... V-2
- Gambar 5.2 Grafik rekapitulasi nilai gaya pada saat amputee naik tangga ..... V-3
- Gambar 5.3 Grafik rekapitulasi nilai usaha eksternal pada saat amputee  
naik tangga..... V-3
- Gambar 5.4 Grafik rekapitulasi nilai torsi pada saat amputee turun tangga .... V-4
- Gambar 5.5 Grafik rekapitulasi nilai gaya pada saat amputee turun tangga .... V-5
- Gambar 5.6 Grafik rekapitulasi nilai usaha eksternal pada saat amputee turun  
tangga ..... V-6



## DAFTAR ISTILAH

### A

- Achiles tendon : Tendon yang melekat pada kaki bagian betis yang berfungsi sebagai penggerak kaki.
- Amputee : Orang yang mengalami amputasi.
- Angkle joint : Sendi pergelangan kaki.
- Anterior : Tubuh bagian depan.
- Angular velocity : Kecepatan sudut.

### B

- Bushing : Ring pada baut.

### C

- Capture : Gambar foto yang ditangkap dari video bergerak.
- Center of mass : Titik pusat masa tubuh
- Center of gravity : Titik pusat gravitasi pada tubuh
- CvMob : Software pengolahan video untuk menghitung nilai kecepatan dan percepatan orang berjalan

### E

- Elevasi : Sudut kemiringan.
- Energy storing : Energi yang disimpan dan dilepaskan kembali ketika kaki dalam posisi mengayun.
- Equilibrium gait : Keseimbangan gerakan kaki ketika berjalan.

### F

- Foot : Kaki
- Frontal plane : Bidang yang membelah tubuh menjadi bagian depan dan belakang.

### G

- Gait cycle : Siklus berjalan yang terdiri atas delapan fase.
- Gait training : Suatu pola latihan untuk amputee agar dapat berjalan dengan aman, efisien dan seimbang.

Gas spring : Suspensi pegas.

## H

Human locomotion : Pergerakan berjalan manusia.

Human motion : Gerak tubuh manusia.

## I

Inferior : Tubuh bagian bawah

Inclination : Sudut kemiringan tangga.

## K

Knee : Lutut.

## L

Linier velocity : Kecepatan linier.

## M

Mechanical springs : Pegas mekanik.

Metal pylon : Logam pipih berbentuk seperti tiang berongga.

Maple : Software perhitungan pemodelan matematis

## P

Pararel bars : Pegangan tangan untuk tumpuan latihan berjalan.

Patella : Tempurung lutut.

Posterior : Tubuh bagian belakang.

Prosthetic : Alat pengganti anggota gerak bawah yang telah hilang atau diamputasi

Prosthetic eksoskeletal : Prosthetic kaki yang dibuat menyerupai bentuk fisik kaki manusia.

Prosthetic endoskeletal : Prosthetic kaki yang dibuat dengan konstruksi rangka yang lebih sempurna

## S

Sagital plane : Bidang yang membelah tubuh menjadi bagian kanan dan kiri.

Shank : Betis.

Stance phase : Fase berjalan di mana kedua kaki melakukan

kontak ke lantai.

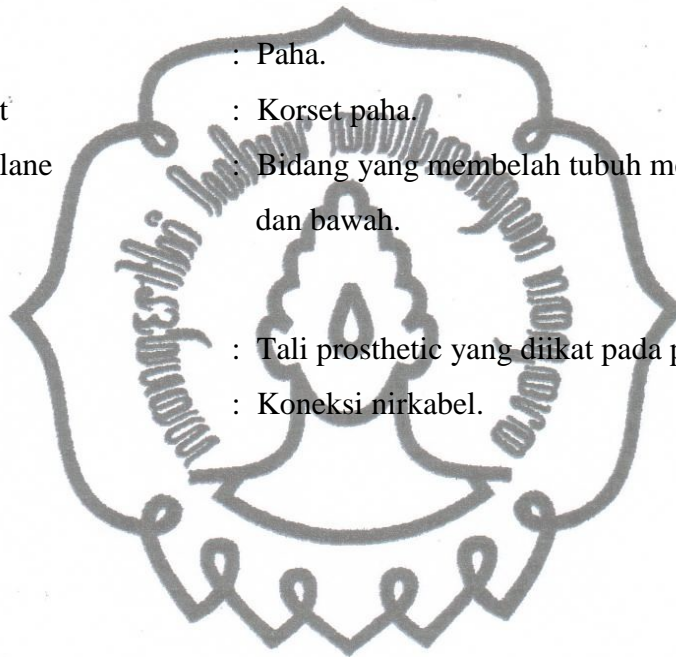
Stick diagrams	: Diagram batang yang mewakili tubuh manusia.
Strap	: Tali pengikat prosthetic.
Stump	: Bagian tubuh sisa dari amputasi.
Superior	: Tubuh bagian atas.
Swing phase	: Fase berjalan di mana salah satu kaki mengayun dan salah satunya menjadi tumpuan.

## T

Thigh	: Paha.
Thigh corset	: Korset paha.
Transverse plane	: Bidang yang membelah tubuh menjadi bagian atas dan bawah.

## W

Waist belt	: Tali prosthetic yang diikat pada pinggang.
Wireless	: Koneksi nirkabel.



## BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah dari penelitian, perumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini, tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan untuk menyelesaikan penelitian.

### 1.1 LATAR BELAKANG

Penanganan material di usaha pengecoran logam besi sampai saat ini masih dilakukan secara manual. Penanganan material secara manual terwujud dalam aktivitas mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, membawa, dan sebagainya. Penanganan material secara manual melibatkan kemampuan fisik manusia dalam sebagian besar prosesnya. Aktivitas manual cenderung menekan pada bagian segmen tubuh untuk melakukan kerja, sehingga aktivitas ini berpotensi menimbulkan gangguan fisik berupa keluhan *musculoskeletal* yaitu keluhan yang terjadi terhadap sistem untuk mendukung dan melindungi tubuh dan organ yang berbeda dan mempertahankan pergerakan tubuh.

Tarwaka (2004) menyatakan keluhan *musculoskeletal* pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat adanya beban yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Penanganan material secara statis dalam waktu yang lama menyebabkan penekanan pada bagian segmen tubuh yang tetap sehingga memungkinkan munculnya keluhan otot pada segmen tubuh tersebut. Keluhan *musculoskeletal* umumnya terjadi pada otot leher, bahu, lengan, jari, punggung, pinggul dan otot-otot bagian bawah. Aktivitas operator dengan posisi punggung membungkuk dan miring secara berulang-ulang merupakan aktivitas yang sangat rentan terhadap resiko cedera otot lengan dan otot ruas tulang belakang atau *upper limb-work related musculoskeletal disorders* (UL-WMSDs). Hal ini didukung oleh pernyataan Noyes (2000) bahwa salah satu penyebab cedera pada otot tangan dan tulang belakang adalah aktivitas berulang-ulang. Hal ini terjadi di stasiun *finishing* pada perusahaan pengecoran logam PT. Bonjor Jaya.

*commit to user*



PT. Bonjor Jaya merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pengecoran logam dan permesinan. Perusahaan ini berlokasi di Kurungbaru, Batur, Ceper, Klaten Propinsi Jawa Tengah. PT. Bonjor Jaya menghasilkan *pulley* yang digunakan untuk kipas pada pompa sentrifugal. *Pulley* yang diproduksi perusahaan memiliki diameter 16 inci dengan berat 10 kg yang berbentuk lingkaran sesuai dengan kebutuhan pompa. Perusahaan ini memiliki tiga stasiun kerja meliputi stasiun pengecoran (proses peleburan besi dan proses penuangan besi cair ke dalam cetakan), stasiun pemotongan dan stasiun *finishing* (proses penghalusan dan pengecatan). Pelaksanaan proses produksi pada perusahaan masih menggunakan sistem manual terutama pada proses penghalusan di stasiun *finishing*. Proses penghalusan dilakukan dengan menghaluskan *pulley* pada meja kerja dengan ketinggian 50 cm menggunakan sebuah mesin gerindra.

Hasil observasi yang dilakukan pada maret 2010, diketahui sebelum proses penghalusan, operator mengangkat benda kerja dari lantai ke meja kerja, kemudian memposisikan sisi benda kerja yang dihaluskan. Penghalusan dilakukan dengan menggerakkan gerinda secara berulang-ulang pada sisi benda kerja hingga halus. Setelah itu operator mengangkat benda kerja yang telah dihaluskan kembali ke lantai. Pada saat menghaluskan benda kerja, posisi punggung, leher, dan pinggang operator dalam keadaan membungkuk. Kondisi ini disebabkan terlalu rendahnya meja dudukan untuk benda kerja yang mengakibatkan resiko *musculoskeletal* dan ketidaknyamanan kerja.

Biomekanika adalah suatu ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan konsep keteknikan untuk mempelajari gerakan yang dialami oleh beberapa segmen tubuh dan gaya-gaya yang terjadi pada bagian tubuh tersebut selama aktivitas normal. Sehingga dapat diketahui nilai gaya yang ditimbulkan operator dalam melakukan aktivitas kerja.

Pada penelitian ini dilakukan kajian biomekanik saat operator melakukan aktivitas penghalusan pada stasiun *finishing* agar diketahui nilai gaya yang ditimbulkan operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan sebelum dan sesudah perbaikan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *local refferency system* (LRS). LRS merupakan sistem acuan yang ada di dalam suatu

sistem untuk mengetahui kontribusi gaya yang terjadi pada tiap segmen sehingga dapat diketahui jarak yang terjadi pada tiap segmen terhadap titik acuan untuk mencari gaya. Selanjutnya dilakukan suatu perancangan meja dudukan benda kerja pulley yang dapat mengurangi keluhan yang dirasakan oleh operator selama proses penghalusan. Hasil rancangan ulang meja dengan pendekatan biomekanik diharapkan dapat mengurangi beban kerja yang terjadi pada operator.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka dalam penelitian ini masalah yang dapat dirumuskan adalah bagaimana merancang alat bantu pekerjaan penghalusan benda kerja *pulley* untuk mengurangi beban kerja pada proses penghalusan melalui *assesment* biomekanik.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan perumusan masalah yang telah ditentukan, maka tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Merancang desain alat bantu berupa meja dudukan benda kerja pulley untuk mengurangi beban kerja dan perbaikan postur tubuh pekerja sehingga dapat mengurangi resiko *musculoskeletal*.
2. Menentukan *assesment* pada beban kerja pada operator pada saat melakukan aktivitas pekerjaan penghalusan dengan menggunakan prinsip biomekanik.

## 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan rancangan alat bantu berupa meja untuk benda kerja *pulley* pada proses penghalusan guna mengurangi keluhan *musculoskeletal*.
2. Memperbaiki postur posisi pekerja untuk proses aktivitas penghalusan.

## 1.5 BATASAN PENELITIAN

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Benda kerja (*pulley*) mempunyai berat 10 kg dan berdiameter 16 inchi.
2. Pada perhitungan gaya titik acuan tubuh terdapat pada *hip* (pinggul).
3. Implementasi berupa desain alat yang telah disimulasikan melalui *software blender*.

*commit to user*

4. Bidang referensi yang digunakan adalah *sagital plane*.
5. Kaki operator pada posisi statis selama melakukan pekerjaan.

## **1.6 ASUMSI PENELITIAN**

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Jarak beban (gerinda) sama dengan jarak *arm* kiri ke titik acuan.
2. Pengambilan elemen kerja dilakukan pada salah satu operator yang mewakili elemen kerja operator yang lain, yaitu elemen kerja pada saat menggerinda, membalikkan pulley, menggerinda sisi samping pulley, dan menurunkan pulley.

## **1.7 SISTEMATIKA PENULISAN**

Penulisan penelitian dalam laporan tugas akhir ini mengikuti uraian yang diberikan pada setiap bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Dari pokok-pokok permasalahan dapat dibagi menjadi enam bab yaitu:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang pemilihan permasalahan, manfaat dari skripsi dan batasan-batasan yang dijabarkan dalam penulisan laporan, asumsi, dan juga sistematika penulisan laporan penelitian ini.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini dijelaskan mengenai gambaran usaha pengecoran logam dan pemesinan PT. Bonjor Jaya dan teori yang mendukung dan terkait langsung dengan desain perancangan meja duduk benda kerja pada proses penghalusan logam khususnya pada cabang disiplin ilmu biomekanika meliputi metode *local refferency system* (LRS).

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN MASALAH**

Pada bab ini dijelaskan langkah yang diambil untuk menyelesaikan permasalahan dan langkah-langkah pengolahan data melalui metodologi penelitian.

### **BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini dimulai dengan pengumpulan data-data yang diperoleh, dilanjutkan dengan proses pengolahan data dengan menggunakan

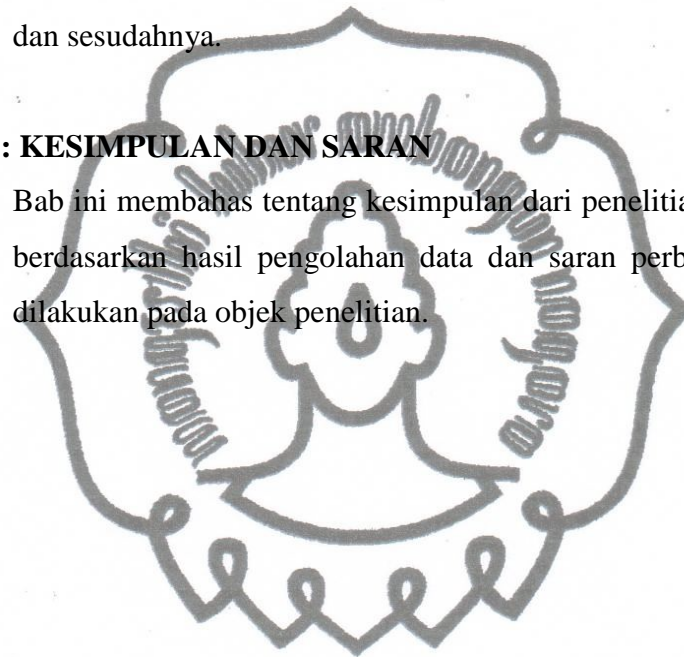
kajian biomekanik dalam perhitungan gaya kemudian dilakukan evaluasi dengan menggunakan pendekatan metode *local refferency system* (LRS).

## **BAB V : ANALISIS DAN INTREPRETASI HASIL**

Bab ini akan membahas tentang analisis dari seluruh pengolahan data yang dilakukan, meliputi analisis biomekanika, posisi postur kerja, dan rancangan meja dudukan benda kerja *pulley*. Setelah dilakukan perbaikan, kemudian membandingkan kondisi pekerja antara sebelum dan sesudahnya.

## **BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data dan saran perbaikan yang perlu dilakukan pada objek penelitian.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas gambaran umum PT. Bonjor Jaya yang merupakan tempat peneliti mengamati sistem yang berlangsung di dalamnya, pengetahuan mengenai konsep biomekanik dan gerakan manusia digunakan sebagai landasan teori yang memberikan acuan dalam mengevaluasi masalah yang dibahas dalam penelitian ini.

### 2.1 USAHA PENGECORAN PT. BONJOR JAYA

PT. Bonjor Jaya yang berlokasi di Kurung Baru, Ceper, Klaten merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pengecoran logam dan permesinan. PT. Bonjor Jaya didirikan oleh H. Iskhak Istanto pada tahun 1985 dengan izin Bupati Kepala Daerah Tingkat II Klaten No. 503/1026/00/1993. Pada saat perusahaan baru didirikan, perusahaan tersebut hanya memiliki fasilitas sederhana yaitu 1 unit wajan besar yang berdiameter 75 cm dan tinggi 3 cm, 2 unit *blower*, 1 unit mesin diesel dengan alat bantu seperti oli, cunting/ladel, batu tahan api, silikon, dan melibatkan 10 orang tenaga kerja. Meskipun alat yang digunakan masih sangat sederhana namun PT. Bonjor Jaya mampu mencetak dan memproduksi berbagai macam produk, sebagai berikut:

1. *Pulley* : belt A, B, dan C (1-6 *belt*) dengan ukuran 2" – 24"
2. Pompa : pompa sentrifugal, pompa NS, dan pompa *dragon*.
3. *Bollard* : berbagai macam tipe (*bit*, *curve*, dan *kidney*) dengan ukuran K.15-K.150. Pada *bollard* ini dapat juga dilengkapi dengan satu set angkut dan *fender*.
4. Kipas, setir mesin roda gila, roda gigi,
5. *Body hydrant*,
6. *Gril* tangkapan air dan *man hole*,
7. Bandul timbangan,

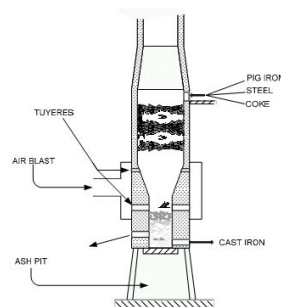
Perencanaan yang baik dari pimpinan perusahaan, pada tahun berikutnya PT. Bonjor Jaya berkembang pesat. Perkembangan pesat yang terjadi pada tahun 1988 ini merupakan awal mula dari majunya perusahaan industri pengecoran



logam dan pemesinan PT. Bonjor Jaya ditandai perluasan usaha produksi perusahaan yakni mencetak atau memproduksi benda lain seperti rumah pompa, komponen pipa air minum, stir kapal, dan alat-alat lain sesuai dengan permintaan konsumen. Bertambahnya hasil produksi maka secara otomatis menyebabkan penambahan fasilitas yang ada, diantaranya adalah tanah seluas 2300  $m^2$ , gedung 650  $m^2$ , 4 mesin bubut, 2 unit mesin bor, dan mesin *frais*, 80 tenaga kerja, 1 set las listrik, 4 mesin gerenda tangan, 1 dapur tungku, 2 unit wajan besar, 4 unit *blower*, dan 2 mesin diesel. Jika dibandingkan dengan kondisi waktu pertama kali perusahaan itu berdiri hingga sekarang perusahaan mengalami perkembangan yang sangat pesat. Industri pengecoran logam dan permesinan Bonjor Jaya tiap kali mengecor membutuhkan bahan baku 15000 kg logam dari *supplier*.

### 2.1.1 Proses Pengecoran Besi Cor

Pengecoran adalah proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan *parts* dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Membuat komponen dengan cara menuangkan bahan yang dicairkan ke dalam cetakan. Bahan disini dapat berupa *metal* maupun *non-metal*. Proses untuk mencairkan bahan diperlukan (dapur *kupola*). *Furnace* adalah sebuah dapur atau tempat yang dilengkapi dengan *heater* (pemanas). Bahan padat dicairkan sampai suhu titik cair dan dapat ditambahkan campuran bahan seperti *chrome*, silikon, titanium, aluminium agar bahan menjadi lebih baik. Bahan yang sudah cair dapat dituangkan ke dalam cetakan.



**Gambar 2.1 Tungku kupola**

Sumber: PT Bonjor Jaya, 2010



Gambar 2.1 menerangkan pembuatan baja dengan tanur yang dialiri gas  $O_2$  untuk mengurangi *carbon*. Bahan baku berupa biji besi dimasukkan dalam tanur dan dialiri gas, bagian bawah baja cair ditampung kedalam ladle yang kemudian dimasukan ke dalam cetakan. Proses pengecoran dibedakan menjadi dua macam yaitu *traditional casting* dan *non-traditional/contemporary casting*.

1. Teknik *traditional*, yaitu:

- a. *Sand-Mold Casting*
- b. *Dry-Sand Casting*
- c. *Shell-Mold Casting*
- d. *Full-Mold Casting*
- e. *Cement-Mold Casting*
- f. *Vacuum-Mold Casting*

2. Teknik *non-traditional*, yaitu:

- a. *High-Pressure Die Casting*
- b. *Permanent-Mold Casting*
- c. *Centrifugal Casting*
- d. *Plaster-Mold Casting*
- e. *Investment Casting*
- f. *Solid-Ceramic Casting*

Perbedaan secara mendasar di antara keduanya adalah *contemporary casting* tidak bergantung pada pasir dalam pembuatan cetakannya. Perbedaan lainnya adalah bahwa *contemporary casting* digunakan untuk menghasilkan produk dengan geometri yang kecil relatif dibandingkan bila menggunakan *traditional casting*.

Proses pengecoran melalui beberapa tahap yaitu pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Hasil pengecoran disebut berwujud coran atau benda cor.

### 2.1.2 Proses Finishing Besi Cor

Perlakuan terhadap produk logam dengan tujuan penghalusan hasil kerja sebelumnya. Apakah berupa pengetokan, pemolesan dempul, pengecatan, pelapisan logam anti karat pada permukaan produk dan sebagainya. Di industri,

setiap perlakuan menggunakan mesin sendiri dan ada mesin yang mengerjakan lebih dari satu proses. Pengenalan terhadap cara kerja mesin sangat membantu dalam analisis perancangan kerja dan ergonomi karena interaksi antara manusia dan mesin, demi merancang sistem produksi yang efisien, efektif dan produktif. Pada PT. Bonjor Jaya pada stasiun *finishing* yaitu berupa proses penghalusan dan proses pengecatan. Pada gambar 2.2 ditampilkan proses penghalusan di PT. Bonjor Jaya.



**Gambar 2.2 Proses penghalusan**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

Pada gambar 2.4 di atas terdapat seorang operator sedang melakukan aktivitas penghalusan. Benda kerja yang dihaluskan yaitu berupa *pulley* yang berdiameter 8 inchi berulir 2 dan 16 inchi berulir 3.

## **2.2 ERGONOMI DALAM PROSES PENGECORAN BESI COR**

Ergonomi pada proses pengecoran yaitu suatu sikap atau posisi yang paling nyaman seorang operator atau pekerja untuk melakukan suatu aktivitas pengecoran, sehingga keluhan yang ditimbulkan dan resiko kerja akan kecil. Kenyamanan pekerja dalam melakukan aktivitas meningkatkan produktivitas kerja dan mengurangi tingkat kelelahan kerja.

### **2.2.1 Postur Kerja Operator**

Postur ditandai dengan mengukur hubungan sudut antara berbagai menghubungkan tubuh dan tetap kerangka acuan. Kerangka acuan yang paling intuitif adalah segmen lain badan utama, seperti sebagai lengan untuk postur pergelangan tangan atau batang tubuh untuk postur leher. Namun, beberapa sistem menggunakan referensi jenis lainnya, seperti cakrawala. Tindakan mencakup besar dan durasi postur tertentu (MacLeod, 2000).

*commit to user*

Menurut MacLeod (2000), postur netral adalah posisi optimal tiap sendi yang menyediakan kekuatan paling besar, kendali gerakan yang paling atas, dan stres fisik paling kecil pada sendi dan jaringan di sekitarnya. Secara umum, posisi ini sudah dekat titik tengah dari berbagai macam gerakan, yaitu posisi otot sekitar sendi seimbang dan santai. Ada pengecualian penting untuk aturan titik tengah ini. Postur lengan yang dipengaruhi oleh gravitasi, dan lutut yang berfungsi dengan baik dekat posisi perpanjangannya.

Ada beberapa prinsip utama penerapan postur yang relevan di tempat kerja, yaitu:

**1. Bagian belakang (punggung) dengan “kurva S” utuh yang paling alami.**

Ruas tulang belakang melengkung kira-kira dalam bentuk sebuah "S." Menjaga kurva S adalah sesuatu yang penting untuk mencegah cedera punggung kronis dan mengoptimalkan posisi kerja. Bagi punggung bagian bawah, meliputi mempertahankan beberapa derajat lordosis baik pada posisi duduk maupun berdiri. Pembengkokan ke depan (kifosis) di punggung bawah dapat menyebabkan cedera parah. Penyelarasan tulang belakang difasilitasi dengan mempertahankan postur semi-mendekam, menjaga lutut sedikit menekuk. Posisi kerja ini, yaitu:

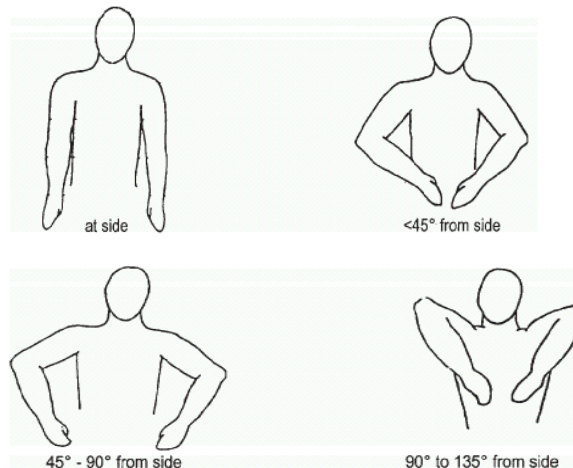
- a. Ketika berdiri, menggunakan kaki untuk istirahat.
- b. Sambil bersandar ketika duduk agak
- c. Memiliki dukungan lumbalis yang baik.

**2. Leher dalam posisi tepat sejajar.**

Sikap netral leher cukup jelas, yaitu tidak boleh membungkuk atau memutar.

**3. Siku digunakan secara alami di sisi tubuh dan bahu dengan santai.**

Siku harus nyaman di sisi tubuh, bahu rileks dan tidak membungkuk. Bekerja dengan siku mengayun keluar dapat menambahkan regangan pada bahu sehingga menyebabkan kelelahan dan ketidaknyamanan, mengganggu kemampuan orang untuk melakukan pekerjaan mereka dengan baik, dan memberikan kontribusi cedera bahu untuk jangka panjang. Jika bukan, efek dari gravitasi, sikap netral tangan akan mengayun keluar setidaknya untuk beberapa derajat, karena merupakan titik tengah dari berbagai gerakan.

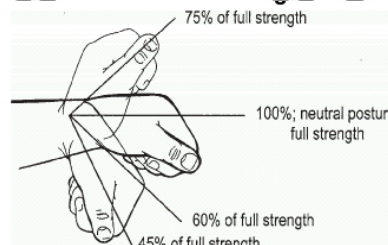


**Gamba 2.3 Potur kerja operator**

Sumber: Macleod,2000

#### 4. Pergelangan tangan segaris dengan lengan

Postur normal pergelangan tangan lebih intuitif. Tangan harus berada di bidang yang sama dengan lengan bawah atau membentuk sudut agak dalam kurang lebih seolah-olah memegang kemudi mobil pada posisi jam 10 dan 2. Sikap netral pergelangan tangan tidak di sudut kanan seperti ketika memegang karangan bunga atau bermain piano.



**Gamba 2.4 Posisi pergelangan tangan**

Sumber : Macleod,2000

Sikap netral untuk masing-masing kerja tidak harus posisi yang sangat tepat, melainkan melibatkan berbagai posisi kecil. Lebih jauh lagi, orang tidak boleh menyimpulkan ada satu sikap terbaik yang dipertahankan sepanjang hari. Tubuh kadang-kadang perlu mengubah dan menggeser.

#### 5. Memperkecil kelelahan dan beban statis

Postur kerja statis yang memerlukan pergeseran kepala dari sikap netral, baik pada fleksi, ekstensi, rotasi atau lateral fleksi ke kanan atau kiri,

mengakibatkan ketidakseimbangan asimetris otot pada saat pengangkatan beban. Ketika beban otot statis tidak seimbang terjadi berulang kali dan dalam periode yang lama, itu hasil dalam mengangkat beban dalam posisi statis dalam otot yang menyebabkan kelelahan dan hilangnya efisiensi. Selain itu, postur kerja yang abnormal menghasilkan kompresi yang *asimetris* pada tulang belakang cakram dan stress mekanik berlebihan pada ligamen dan kapsul sendi. Seiring berjalannya waktu, resiko dari beban tulang belakang yang *asimetris* dapat mengakibatkan *degenerative* pada tulang belakang dan penyakit sendi dengan iritasi dan radang saraf-saraf yang keluar dari permukaan kedua sisi tulang belakang.

### 2.2.2 Musculoskeletal Disorder (MsD)

Studi MsD pada berbagai jenis industri dilakukan dan hasil studi menunjukkan bahwa bagian otot yang sering dikeluhkan adalah otot rangka atau otot skeletal yang meliputi otot leher, bahu, lengan, jari, punggung, pinggul dan otot-otot bagian bawah. Keluhan otot skeletal yang dialami pekerja adalah otot bagian pinggul (*low back pain*). Laporan dari *The Bureau of Labour Statistic* Departemen Tenaga Kerja Amerika Serikat yang dipublikasikan pada tahun 1982 menunjukkan bahwa hampir 20% dari semua kasus sakit akibat kerja dan 25% biaya komperensi yang dikeluarkan sehubungan dengan adanya keluhan sakit pinggul. Sementara itu *National Safety Council* melaporkan bahwa sakit akibat kerja yang frekuensi kejadiannya paling tinggi adalah sakit punggung yaitu 22% dari 1.700.000 kasus (Waters *et.al.*, 1996).

### 2.2.3 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)

NIOSH yang memantau mengenai MsD dan *Work Place Factor* di Amerika menyatakan bahwa masalah di atas tetap merupakan masalah besar yang menimbulkan kecacatan dan mengeluarkan biaya yang tinggi bagi industri untuk membayar klaim kesehatan bagi pekerjanya (Bernard, 1997). Faktor yang menyebabkan terjadinya keluhan otot skeletal, yaitu:

1. Peregangan otot yang berlebihan.

*commit to user*



Peregangan otot yang berlebihan ini terjadi karena pengerahan tenaga yang diperlukan melampaui kekuatan optimum otot. Apabila hal serupa sering dilakukan, maka mempertinggi resiko terjadinya keluhan otot, sehingga menyebabkan terjadinya cedera otot skeletal.

## 2. Aktivitas berulang.

Aktivitas berulang adalah pekerjaan yang dilakukan secara terus menerus seperti pekerjaan mencangkul, membelah kayu besar, angkut-angkut dan sebagainya. Keluhan ini terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus menerus tanpa memperoleh kesempatan untuk relaksasi.

## 3. Sikap kerja tidak alamiah.

Sikap kerja tidak alamiah adalah sikap pekerja yang menyebabkan posisi bagian-bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiah, misalnya pergerakan tangan terangkat, punggung terlalu membungkuk, kepala terangkat dan sebagainya. Semakin jauh posisi bagian tubuh dari pusat gravitasi tubuh, maka semakin tinggi pula resiko terjadinya keluhan otot skeletal.

### 2.2.4 Nordic Body Map

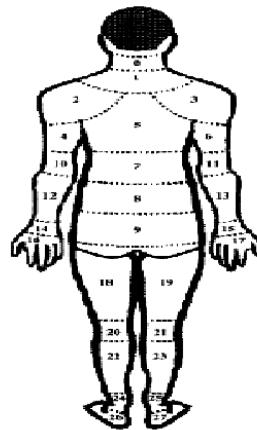
Salah satu alat ukur ergonomik sederhana yang digunakan untuk mengenali sumber penyebab keluhan *musculoskeletal* adalah *nordic body map*. Melalui *nordic body map* dapat diketahui bagian otot yang mengalami keluhan dengan tingkat keluhan mulai dari rasa tidak sakit sampai dengan sangat sakit (Corlett, 1992).

Kelelahan maupun ketidaknyamanan akibat pekerjaan yang berulang-ulang sering terjadi di tempat kerja. Penyebab terjadinya resiko tersebut, yaitu:

1. *Static positions* (posisi yang tetap),
2. *Body movements* (pergerakan tubuh),
3. *Handling – lifting* (pengangkatan dan penanganan benda),
4. *Pushing/pulling and carrying loads* (pekerjaan menarik, mendorong, dan mengangkat beban),
5. *Use of a localised force* (penggunaan gaya setempat),
6. *Repeated efforts* (usaha yang berulang – ulang),
7. *Energy expenditure* (pengeluaran energi yang berlebihan).

Kuesioner *nordic body map* terhadap segmen tubuh ditampilkan pada gambar 2.5.





**Gambar 2.5 Nordic body map**

Sumber: Corlett, 1992

**Keterangan gambar 2.5 :**

No	Keluhan Bagian Tubuh
0	Leher bagian atas
1	Leher bagian bawah
2	Bahu kiri
3	Bahu kanan
4	Lengan atas bagian kiri
5	Punggung
6	Lengan atas bagian kanan
7	Pinggang ke belakang
8	Pinggul ke belakang
9	Daerah Pantat
10	Siku kiri
11	Siku kanan
12	Lengan bawah bagian kiri
13	Lengan bawah bagian kanan
14	Pergelangan tangan kiri
15	Pergelangan tangan kanan
16	Telapak tangan bagian kiri
17	Telapak tangan bagian kanan
18	Paha kiri
19	Paha kanan
20	Lutut kiri
21	Lutut kanan
22	Betis kiri
23	Betis kanan
24	Pergelangan kaki kiri
25	Pergelangan kaki kanan
26	Telapak kaki kiri
27	Telapak kaki kanan

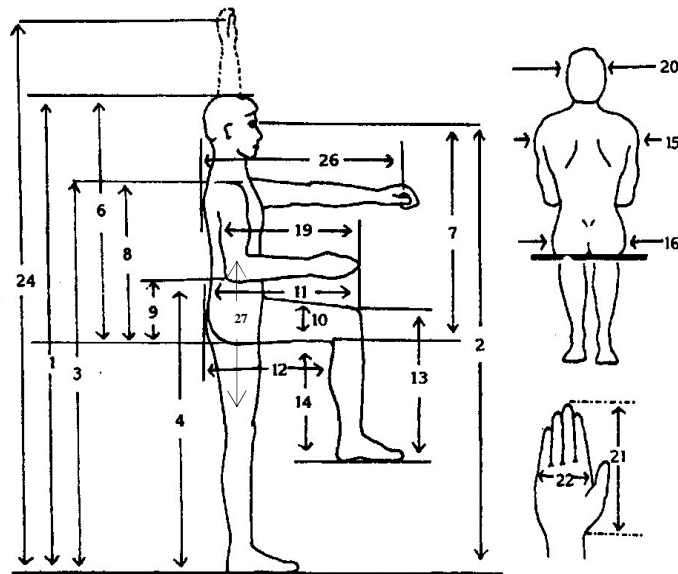
Gambar 2.5 memperlihatkan jenis keluhan otot skeletal yang dirasakan oleh tubuh pekerja. Cara ini sederhana namun kurang teliti karena mengandung subjektivitas yang tinggi. Bentuk subjektivitas terjadi ketika pekerja atau responden memberikan kategori tingkat keluhan yang dirasakan pada setiap segmen tubuhnya. Keluhan yang dirasakan bersifat kualitatif sehingga data hasil kuesioner melalui *nordic body map* tergantung subyektifitas pekerja.

### 2.2.5 Anthropometri

Agar rancangan dari produk nantinya sesuai dengan ukuran tubuh manusia yang mengoperasikannya perlu diterapkan data anthropometri. Anthropometri berasal dari kata “anthro” yang berarti manusia dan “metri” yang berarti ukuran, sehingga anthropometri dapat sebagai ilmu yang mempelajari tentang keterbatasan dimensi tubuh manusia yang meliputi bentuk, ukuran (tinggi, lebar, dan sebagainya) yang berbeda satu dengan yang lain dengan tujuan agar dapat menemukan ukuran secara tepat, yang berkaitan dengan produk yang akan dirancang dan manusia yang mengoperasikan atau menggunakan produk tersebut (Sritomo, 2000). Prinsip-prinsip aplikasi data anthropometri, sebagai berikut:

1. Prinsip perancangan produk bagi individu ekstrim,  
Rancangan produk dibuat dapat memenuhi dua sasaran, yaitu sesuai untuk mengikuti klasifikasi ekstrim (terlalu besar atau terlalu kecil dibandingkan rata-rata) dan memenuhi ukuran tubuh mayoritas. Pada umumnya persentil yang umum digunakan adalah ke-95 dan ke-5.
2. Prinsip perancangan produk yang bisa dioperasikan diantara rentang,  
Produk yang dirancang disini dapat diubah-ubah ukurannya sehingga cukup fleksibel dioperasikan oleh setiap orang yang memiliki berbagai macam ukuran tubuh. Mendapatkan rancangan yang fleksibel umumnya digunakan rentang persentil ke-5 sampai ke-95.
3. Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata,  
Prinsip produk ini dirancang berdasarkan rata-rata ukuran manusia. Dalam hal ini kemungkinan orang yang berada dalam ukuran rata-rata sedikit, sedangkan ukuran ekstrim dibuatkan rancangan tersendiri.

Data anthropometri dapat dimanfaatkan untuk menetapkan dimensi ukuran produk yang akan dirancang dan disesuaikan dengan dimensi tubuh manusia yang menggunakannya (Wignjosoebroto, 1995). Pengukuran dimensi struktur tubuh yang diambil dalam perancangan produk maupun fasilitas dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Anthropometri untuk perancangan produk atau fasilitas

Sumber: Wignjosoebroto, 1995

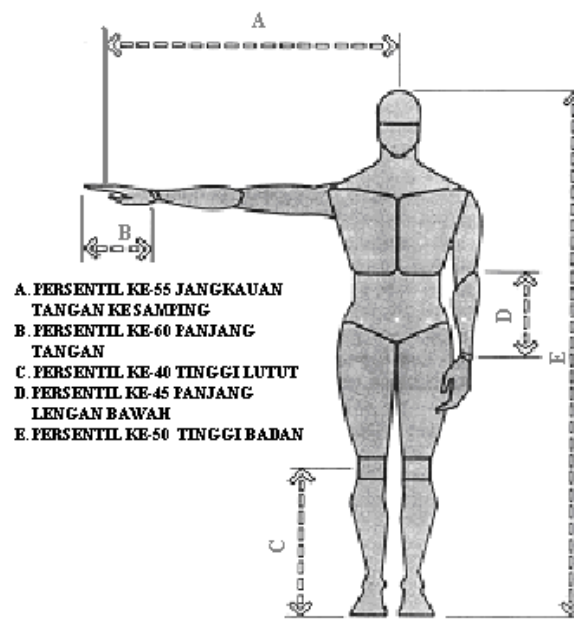
Keterangan gambar 2.6 di atas, yaitu:

- 1 : Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai sampai dengan ujung kepala).
- 2 : Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak.
- 3 : Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak.
- 4 : Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (siku tegak lurus).
- 5 : Tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak (dalam gambar tidak ditunjukkan).
- 6 : Tinggi tubuh dalam posisi duduk (di ukur dari alas tempat duduk pantat sampai dengan kepala).
- 7 : Tinggi mata dalam posisi duduk.
- 8 : Tinggi bahu dalam posisi duduk.
- 9 : Tinggi siku dalam posisi duduk (siku tegak lurus).
- 10 : Tebal atau lebar paha.
- 11 : Panjang paha yang di ukur dari pantat sampai dengan. ujung lutut.
- 12 : Panjang paha yang di ukur dari pantat sampai dengan bagian belakang dari lutut betis.
- 13 : Tinggi lutut yang bisa di ukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk.

*commit to user*

- 14 : Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang di ukur dari lantai sampai dengan paha.
- 15 : Lebar dari bahu (bisa di ukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk).
- 16 : Lebar pinggul ataupun pantat.
- 17 : Lebar dari dada dalam keadaan membusung (tidak tampak ditunjukkan dalam gambar).
- 18 : Lebar perut.
- 19 : Panjang siku yang di ukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus.
- 20 : Lebar kepala.
- 21 : Panjang tangan di ukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari.
- 22 : Lebar telapak tangan.
- 23 : Lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar kesamping kiri kanan (tidak ditunjukkan dalam gambar).
- 24 : Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak.
- 25 : Tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk tegak.
- 26 : Jarak jangkauan tangan yang terjulur kedepan di ukur dari bahu sampai dengan ujung jari tangan.
- 27 : Tinggi dalam posisi berdiri dari ujung kaki hingga pantat bagian bawah.

Adanya berbagai variasi yang cukup luas pada ukuran tubuh manusia secara perorangan, maka besar “nilai rata-rata” menjadi tidak begitu penting bagi perancang. Hal yang justru harus diperhatikan adalah rentang nilai yang ada. Secara statistik sudah diketahui bahwa data pengukuran tubuh manusia pada berbagai populasi akan terdistribusi dalam grafik sedemikian rupa sehingga data-data yang bernilai kurang lebih sama akan terkumpul di bagian tengah grafik. Sedangkan data-data dengan nilai penyimpangan ekstrim terletak di ujung-ujung grafik. Merancang untuk kepentingan keseluruhan populasi sekaligus merupakan hal yang tidak praktis. Berdasarkan uraian tersebut, maka kebanyakan data anthropometri disajikan dalam bentuk *percentile*.



Gambar 2.7 Ilustrasi persentil

Sumber: Roebuck, 1975

Gambar 2.7 menunjukkan ilustrasi persentil. Pada tabel 2.1 menunjukkan jenis persentil dan cara yang digunakan untuk menghitung persentil dalam distribusi normal.

Tabel 2.1 Jenis persentil dan cara perhitungan dalam distribusi normal

Persentil	Perhitungan	Persentil	Perhitungan
Ke-1	$\bar{x} - 2.325\sigma_x$	Ke-90	$\bar{x} + 1.280\sigma_x$
Ke-2.5	$\bar{x} - 1.960\sigma_x$	Ke-95	$\bar{x} + 1.645\sigma_x$
Ke-5	$\bar{x} - 1.645\sigma_x$	Ke-97.5	$\bar{x} + 1.960\sigma_x$
Ke-10	$\bar{x} - 1.280\sigma_x$	Ke-99	$\bar{x} + 2.325\sigma_x$
Ke-50	$\bar{x}$		

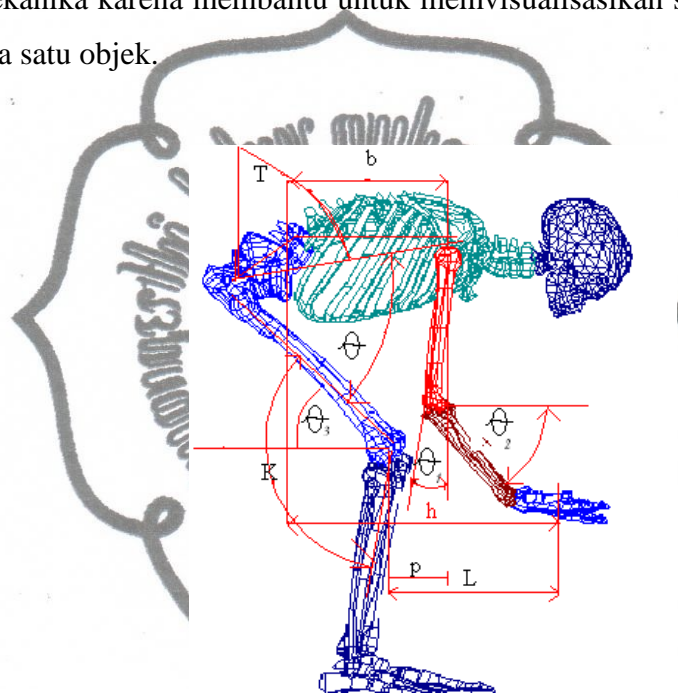
### 2.3 LOCAL REFERENSI SISTEM (LRS)

Analisis pengukuran mekanika tubuh manusia dengan metode *local reference system*. Prinsip-prinsip mekanika dipakai dalam penyusunan konsep, analisis, desain dan pengembangan peralatan. Metode *local reference system* merupakan penerapan dari hukum mekanik untuk mendeskripsikan gerakan manusia, juga sebuah ilmu yang mempelajari gaya yang bekerja dan dihasilkan

pada setiap segmen tubuh manusia. *Local reference system* merupakan sistem sumbu yang mendefinisikan sumbu utama setiap segmen, sistem sumbu anatomis yang diatur di pusat massa segmen (Winter, 2009).

### 2.3.1 Free Body Diagram

*Free body diagram* adalah suatu sketsa yang berhubungan dengan benda yang ada di sekitarnya dan menampilkan semua gaya yang bekerja di dalam tubuh. *Free body diagram* merupakan langkah penting dalam memecahkan masalah mekanika karena membantu untuk memvisualisasikan seluruh gaya yang bekerja pada satu objek.



**Gambar 2.8 Free body diagram orang mengangkat beban**

Sumber: Suparno, 2009

Gambar 2.8 menunjukkan gambaran operator sedang mengangkat sebuah benda kerja. Pada gambar tersebut dapat dilihat cara penentuan sudut, jarak, dan panjang tiap segmen tubuh, sehingga gaya yang terdapat dalam segmen tubuh dapat ditentukan.

### 2.3.2 Gaya

Gaya didefinisikan sebagai aksi suatu benda terhadap benda lainnya. Gaya merupakan besaran vektor, karena akibat yang ditimbulkannya bergantung pada arah selain hukum jajaran genjang dari kombinasi vektor. Sebagai contoh, aksi dari tarikan seutas tali oleh vektor gaya  $P$  yang besarnya  $P$ . Akibat dari gaya ini



penggantung akan bergantung pada  $P$ , sudut  $\theta$ , dan lokasi titik kerja  $A$ . Perubahan salah satu dari ketiga spesifikasi tersebut akan mengubah akibat pada penggantung sebagaimana dapat di deteksi misalnya oleh gaya dalam sambungan yang menahan penggantung pada tumpuannya atau tegangan dalam regangan pada

Bahan penggantung di sembarang titik. Jadi spesifikasi lengkap dari aksi suatu gaya harus mencantumkan besar, arah dan titik kerjanya dalam kasus ini diperlukan sebagai vektor tetap. Aksi sebuah gaya pada suatu benda dapat digolongkan ke dalam dua pengaruh, yaitu luar (eksternal) dan dalam (internal). Gaya adalah dorongan atau tarikan dari sebuah benda yang merupakan hasil interaksi antara benda yang satu dengan yang lain. Gaya merupakan besaran vektor yaitu sebuah besaran yang mempunyai ukuran (besar) dan arah ketika terdapat interaksi antara dua benda maka akan terjadi gaya pada masing-masing benda tersebut. Gaya merupakan besaran mempunyai satuan Newton. Satu Newton (N) merupakan gaya yang dibutuhkan untuk mengangkat beban dengan berat 1 kg dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ . Rumus untuk menentukan gaya, yaitu:

$$F = m \times a \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

F= Gaya yang terjadi (N)

M = Massa beban (Kg)

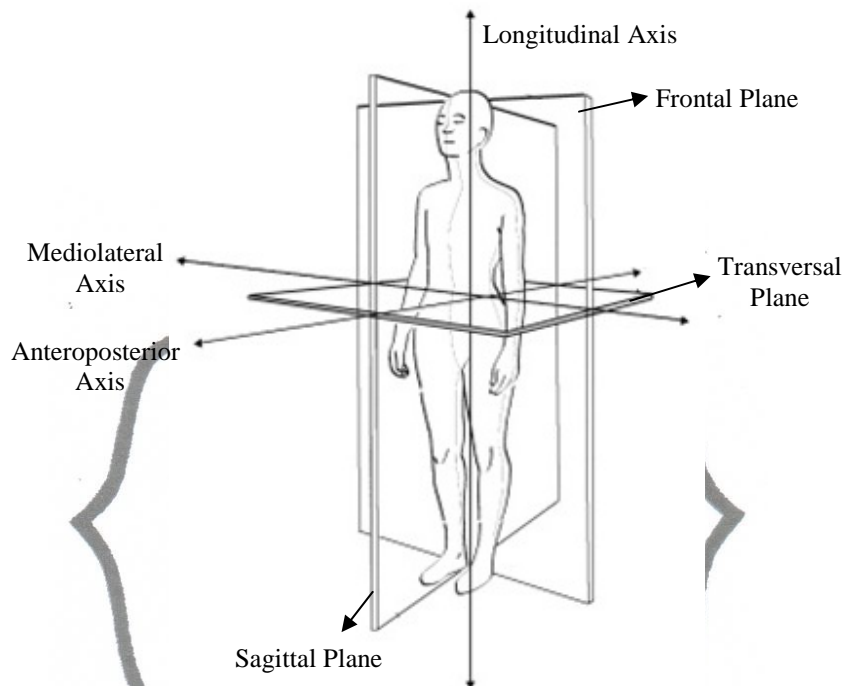
a = Percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

## 2.4 BIOMEKANIKA

Menurut Hatze (1974) dalam Knudson (2007), biomekanika didefinisikan sebagai kajian ilmu yang mempelajari gerakan dari makhluk hidup menggunakan prinsip mekanika teknik. Secara umum biomekanika didefinisikan sebagai ilmu yang menggunakan konsep fisika dan teknik untuk menjelaskan gerakan pada bagian tubuh dan gaya yang bekerja pada bagian tubuh pada aktivitas sehari-hari.

Menurut Hamill dan Knutzen (2009) metode yang secara umum menggambarkan gerakan manusia didasarkan pada sistem bidang dan poros gerak. Gerakan-gerakan yang terjadi pada tubuh manusia bekerja pada garis-garis imajiner yang membagi sumbu tubuh dalam satu titik pusat tubuh ( $COM$ ). Bidang yang membagi gerakan tubuh pada manusia terdiri dari tiga bidang yaitu *sagital plane* yang membelah tubuh menjadi bagian kanan dan kiri, *frontal plane* yang

membelah tubuh menjadi bagian depan dan belakang serta *transverse plane* yang membelah tubuh menjadi bagian atas dan bawah. Referensi bidang ini penting digunakan untuk memudahkan pendeskripsian gerakan yang terjadi pada tubuh manusia.



**Gambar 2.9 Bidang dan sumbu putar tubuh manusia**

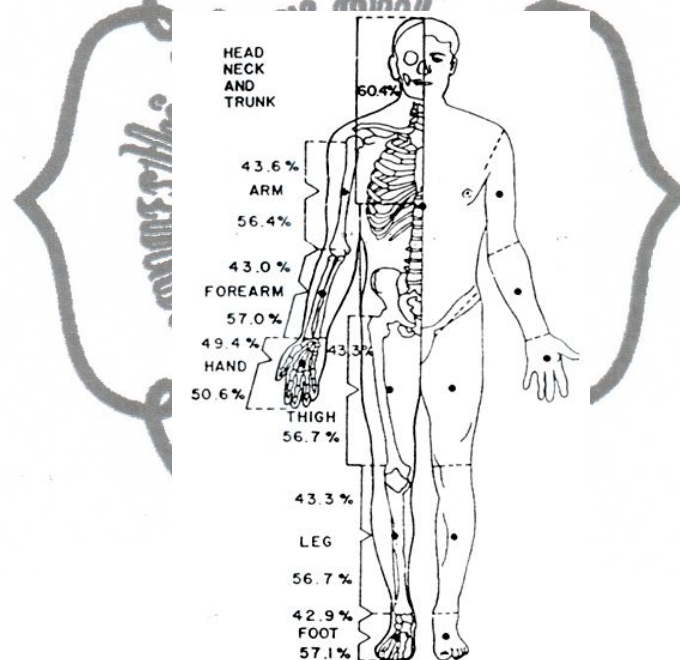
Sumber: Knudson, 2007

Menurut Hamill dan Knutzen (2009), analisis biomekanika gerak manusia dapat dilakukan melalui dua perspektif pendekatan, kinematika dan kinetika. Perspektif kinematik lebih menekankan pada pendeskripsian gerak tanpa mempedulikan gaya yang menyebabkan gerakan tersebut. Studi kinematika terdiri atas penguraian gerakan yang menyebabkan seberapa cepat benda bergerak, seberapa tinggi benda bergerak dan berapa jauh perpindahannya. Sehingga posisi, kecepatan dan gerakan adalah perhatian utama pada perspektif kinematik. Kinetik merupakan area studi yang mengidentifikasi gaya yang terjadi pada suatu sistem, seperti tubuh manusia sehingga menyebabkan suatu obyek bergerak. Evaluasi terhadap gaya yang dihasilkan pada tubuh sangat penting dilakukan karena bertanggungjawab pada terbentuknya seluruh gerakan dan untuk mempertahankan posisi atau postur tubuh saat kita tidak bergerak.

*commit to user*

## 2.5 ANTHROPOMETRI DATA BIOMEKANIKA

Pengukuran anthropometri segmen tubuh manusia disetarakan dengan model benda jamak. Panjang setiap *link* diukur berdasarkan persentase tertentu dari tinggi badan, sedangkan beratnya diukur berdasarkan persentase dari berat badan. Penentuan *center of mass* tiap *link* didasarkan pada persentase standar yang diadaptasi dari penelitian Dempster (1955) dalam Chaffin (1999) seperti digambarkan pada gambar 2.9. *Link* tiap segmen berotasi di sekitar sambungan dan secara mekanika terjadi mengikuti hukum Newton. Prinsip ini digunakan untuk menyatakan gaya mekanik pada tubuh dan gaya otot yang diperlukan untuk mengimbangi gaya yang terjadi.



**Gambar 2.10 Permodelan titik-titik pusat massa dempster**

Sumber: Chaffin, 1999

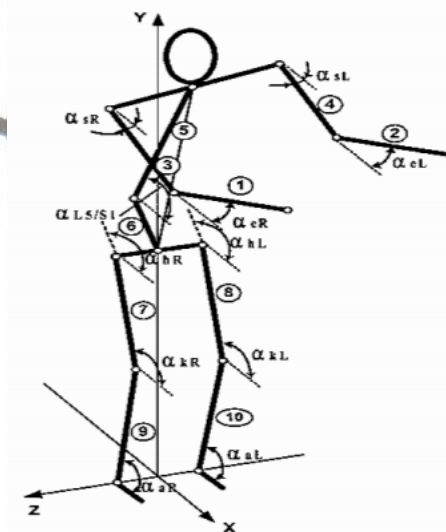
Pada penentuan massa tiap segmen, tubuh manusia digambarkan sebagai *stick diagram* seperti pada pemodelan Dempsters (1955) dalam Chaffin (1999). Persentase massa segmen tubuh ditentukan berdasarkan pemodelan distribusi berat tubuh (Webb Associates, 1978).

**Tabel 2.2 Pemodelan distribusi berat badan**

Group Segment (%) of Total Body Weight		Individual Segment (%) of Group Segment Weight	
Head and Neck	8,4 %	a. Head	73,80 %
		b. Neck	26,80 %
Torso	50,0 %	a. Thorax	43,80 %
		b. Lumbar	29,40 %
		c. Pelvis	26,80 %
Total Arm	5,10 %	a. Upperarm	54,90 %
		b. Forearm	33,30 %
		c. Hand	11,80 %
Total Leg	15,70 %	a. Tight	63,70 %
		b. Shank	27,40 %
		c. Foot	8,90 %

Sumber: Webb Associates, 1978

Pada metode *local reference system* data input yang digunakan untuk menentukan output model massa tubuh, tinggi tubuh, dan sudut antar segmen. Data-data ini dikonversikan dalam massa dan panjang setiap segmen tubuh, serta sudut segmen terhadap sumbu X seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.

**Gambar 2.11 Sudut segmen terhadap sumbu x**

Sumber: Siswanto, 2004

Penentuan koordinat segmen, meliputi koordinat sendi pangkal (*proximal*), koordinat titik pusat massa segmen (*center of mass*), dan koordinat sendi ujung (*distal*).

*commit to user*

## 2.6 PENELITIAN SEBELUMNYA

Aries Kuswidiyanto (2007), dalam penelitiannya yang berjudul “*Usulan Perancangan Meja Dan Kursi Operator Bor Stasiun Handwork Dengan Pendekatan Antropometri (Studi Kasus Pt. Wangsa Jatra Lestari)*”, menjelaskan bahwa operator mesin bor merupakan bagian dari lintasan kerja di stasiun handwork PT. Wangsa Jatra lestari. Hasil studi pendahuluan menunjukkan munculnya keluhan otot rangka atau rasa tidak nyaman yang dominan pada bagian kaki operator bor. Hal ini disebabkan karena fasilitas stasiun kerja yang ada, tidak memberikan alternatif bagi operator bor agar dapat bekerja dalam postur kerja selain berdiri. Sehingga operator bor harus bekerja dalam postur kerja berdiri selama jam kerja. Fasilitas stasiun kerja operator yang terdiri dari meja kerja dan mesin bor, juga tidak sesuai dengan data antropometri operator bor. Sehingga menyebabkan keluhan otot rangka.

Dengan demikian, perlu adanya perancangan fasilitas stasiun kerja sesuai dengan data antropometri operator bor sehingga dapat menghindari sikap paksa pada satu postur kerja (berdiri) selama jam kerja. Hasil pengolahan data didapatkan rancangan fasilitas stasiun kerja yang terdiri dari meja dan kursi kerja serta mesin bor dengan table aktual dan table alternatif. Adanya fasilitas tersebut memberikan alternatif bagi operator mesin bor agar dapat bekerja dalam posisi duduk atau berdiri mengoperasikan mesin bor dengan table sesuai dengan produk yang dikerjakan.

Suparno (2008) dalam penelitiannya yang berjudul *Perancangan Fasilitas Meja Bor Berdasarkan Antropometri Operator Dengan Analisis Biomekanika dan Metode Reba (Studi Kasus : UD. Intim Baru, Sumber, Surakarta)*. UD. Intim Baru merupakan perusahaan yang berskala kecil yang bergerak di bidang perakitan timbangan sentisimal. Salah satu komponen utama dari timbangan sentisimal adalah rom. Rom diletakkan di dasar timbangan sentisimal yang berfungsi sebagai kerangka dasar alas timbangan dan tempat untuk memasang empat roda di sebelah kanan dan kiri. Proses pengeboran rom tersebut merupakan bentuk aktivitas MMH yang diterapkan oleh UD. Intim Baru. Dengan demikian, berdasarkan hasil kuesioner *Nordic Body Map* yang menunjukkan tingkat persentase keluhan pada segmen tubuh operator ketika melakukan proses pengeboran rom, maka perlu

dilakukan perancangan meja rom untuk melakukan perbaikan posisi postur kerja sebagai upaya untuk menghindari terjadinya gangguan *musculoskeletal*. Kemudian melakukan *assessment* posisi postur tubuh pekerja kerja dari anggota gerak atas dan bawah pada segmen tubuh operator dengan menggunakan metode REBA.

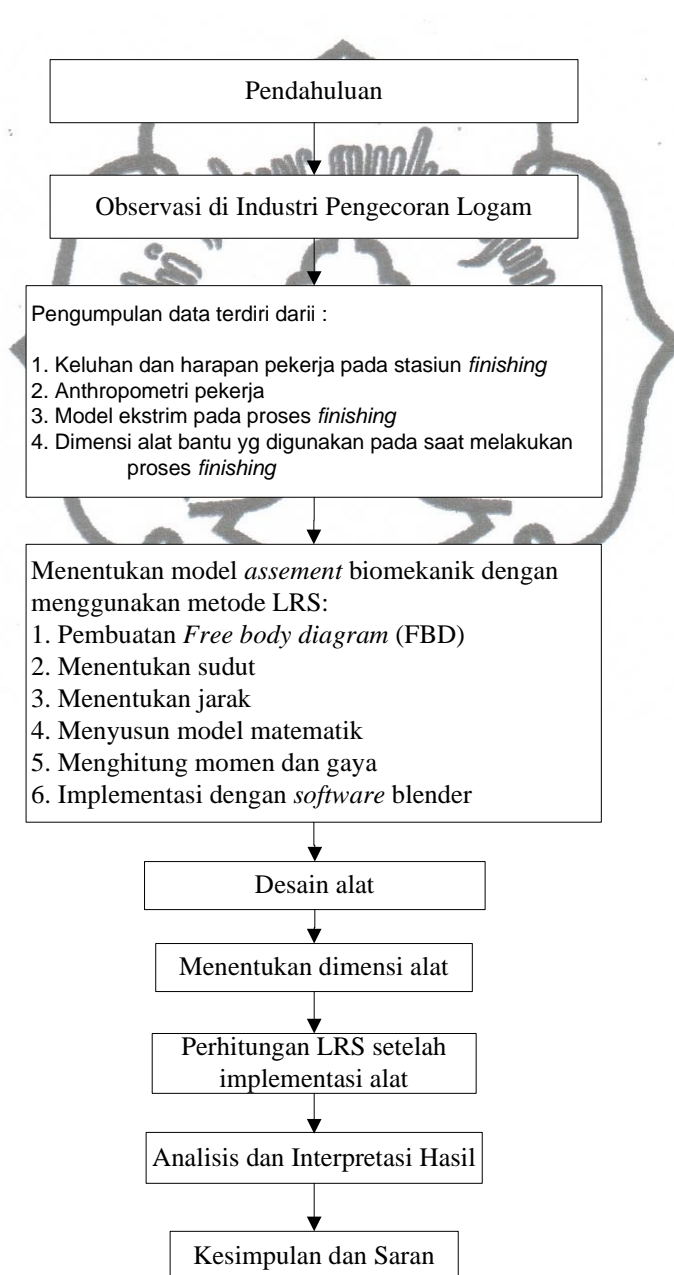
Richard and Terry (2000) dalam jurnalnya berjudul “Ergonomic analysis of a multi-task industrial lifting station using the NIOSH method“ menunjukkan batas pengangkatan beban yang diperbolehkan berdasarkan standar NIOSH. Berdasarkan data hasil pengamatan, terdapat beberapa komponen pengali yang terlalu berlebihan sehingga memerlukan pengurangan. Komponen pengali tersebut adalah frekuensi pemindahan beban, jarak horisontal dan juga jarak vertikal. Perbaikan dilakukan dengan mengurangi frekuensi pemindahan beban dan juga pemberian waktu istirahat dalam selang waktu pergantian shift. Selain itu juga diberikan penambahan alat bantu sebuah roller conveyor. Dengan adanya alat bantu ini diharapkan pekerja tidak akan melakukan aktivitas pengangkatan yang berlebihan karena benda yang akan dipindahkan ikut bergerak dengan roller conveyor.



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian menggambarkan langkah penelitian yang dilakukan dalam pemecahan masalah. Adapun langkah penyelesaian masalah seperti dalam gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Metodologi penelitian**  
*commit to user*

Langkah-langkah penyelesaian masalah pada gambar 3.1, diuraikan dalam sub bab di bawah ini.

### 3.1 PENDAHULUAN

Studi lapangan dilakukan untuk mendukung proses perancangan fasilitas kerja yang berupa meja yang digunakan untuk alat bantu aktivitas penghalusan di pengecoran logam PT Bonjor Jaya, Ceper, Klaten. Proses observasi di lapangan memberikan gambaran masalah-masalah yang ada, kemudian permasalahan ini dikumpulkan menjadi suatu rumusan permasalahan. Perumusan masalah yang muncul yaitu bagaimana merancang alat bantu pada aktivitas penghalusan yakni berupa meja yang digunakan sebagai tempat benda kerja *pulley* yang bertujuan mengurangi beban kerja proses penghalusan berdasarkan pendekatan biomekanik.

### 3.2 OBSERVASI DI INDUSTRI PENGECORAN LOGAM

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan terlebih dahulu persiapan penelitian. Persiapan penelitian meliputi penentuan tempat penelitian dan alat yang digunakan dalam penelitian. Penelitian dilakukan di pengecoran logam “PT Bonjor Jaya” Ceper, Klaten. Data yang diambil dari responden yaitu data awal. Data awal meliputi anthropometri yaitu berupa tinggi badan, tinggi siku berdiri dan berat badan operator. Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

#### 1. Kamera video (*handycam*)

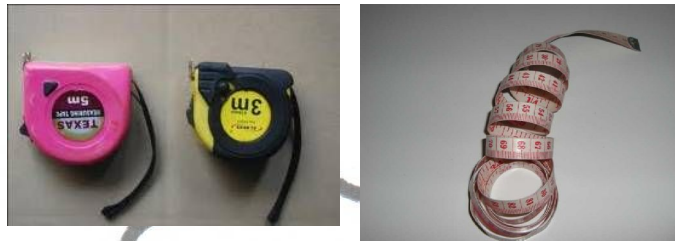
*Handycam* digunakan untuk merekam gerakan operator pada saat melakukan aktivitas. Berikut adalah gambar *handycam* yang digunakan.



**Gambar 3.2 Handycam**

## 2. Meteran.

Meteran digunakan untuk mengukur tinggi badan responden dan benda yang akan digunakan untuk perancangan. Berikut adalah gambar meteran badan yang digunakan.



**Gambar 3.3 Meteran**

## 3. Timbangan badan.

Timbangan badan digunakan untuk mengukur berat badan responden dan benda kerja *pulley*. Berikut adalah gambar timbangan badan yang digunakan.



**Gambar 3.4 Timbangan badan**

## 3.3 PENGUMPULAN DATA

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan terlebih dahulu persiapan penelitian. Persiapan penelitian meliputi penentuan tempat penelitian dan alat yang digunakan dalam penelitian.

Penelitian dilakukan di pengecoran logam “PT Bonjor Jaya” Cepur, Klaten. Data yang diambil dari responden berupa data primer penelitian. Data primer meliputi keluhan pekerja, video operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan, data anthropometri, dan data dimensi alat yang tersedia.

*commit to user*

Tabel 3.1 Pengumpulan data

No	Data	Jenis	Keterangan	Tujuan
1	Data tentang keluhan pekerja berdasarkan <i>nordic body map</i>	Data awal	Data hasil wawancara dan	Mengetahui keluhan yang terjadi pada segmen tubuh operator
2	Mengcapture posisi kerja operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan	Data primer	Data hasil mengambil video	Hasil <i>capture</i> digunakan untuk membuat <i>free body diagram</i> untuk mencari sudut dan menghitung gaya tiap segmen tubuh operator
3	Data berat badan, dan tinggi siku berdiri operator	Data primer	Data melalui pengukuran langsung	Untuk menentukan berat (w) per segmen dan untuk menentukan percentil. percentil yang diambil yaitu <i>percentil</i> ke-5 dan ke-95
4	Data dimensi alat yang tersedia.	Data primer	Data melalui pengukuran langsung	Membantu perancangan ulang

### 3.4 PENGOLAHAN DATA

Pada tahapan ini pengolahan data menggunakan metode *local refferency system* (LRS). LRS merupakan sistem sumbu yang mendefinisikan sumbu utama setiap segmen sistem sumbu anatomis diatur di pusat massa segmen (Winter, 2009). Pada segmen tubuh ditemukan sistem sumbu rotasi sehingga dapat menghitung gaya tiap segmen pada seluruh tubuh. Adapun tahapannya sebagai berikut:

#### 1. *Free body diagram* (FBD).

*Free body diagram* yaitu penggambaran posisi pekerja yang telah *dicapture* dan dikonversikan ke dalam *software* Autocad 2 dimensi yang digunakan untuk mendapatkan nilai sudut dan jarak pada tiap segmen tubuh operator terhadap titik pusat.

*commit to user*

**2. Menentukan sudut.**

Dengan penggunaan *free body diagram* diolah dengan *software Autocad* untuk mencari besarnya sudut yang ada pada setiap segmen.

**3. Menentukan jarak.**

Setelah menentukan sudut pada tubuh operator kemudian dicari jarak tiap segmen terhadap titik pusat atau titik nol pada salah satu segmen tubuh.

**4. Menyusun model matematik.**

Model matematik didapat berdasarkan berat tiap segmen tubuh yang terlihat pada *free body diagram* (FBD) dikali dengan jarak tiap segmen tubuh terhadap titik pusat.

**5. Menentukan gaya.**

Perhitungan gaya dan momen dilakukan pada pekerja pada saat melakukan aktivitas kerja dan melakukan proses penghalusan. Penentuan besar gaya ketika beraktivitas bertujuan untuk mengetahui besar gaya yang ditimbulkan ketika pekerja mengangkat *pulley*, dan pada saat menggerinda. Sedangkan penentuan besar gaya yang dikeluarkan oleh pekerja ketika mengangkat *pulley* bertujuan untuk mengetahui gaya yang dihasilkan pada setiap aktivitas. Nilai prosentase gaya tersebut dapat menentukan tingkat resiko kerja yang dilakukan pekerja berdasarkan ketentuan Tarwaka (2004). Adapun segmen yang dianalisis dalam aktivitas penghalusan adalah yang banyak mengalami keluhan yaitu tangan, lengan, punggung, paha, dan betis. Kemudian pada setiap segmen tubuh dihitung besar gaya yang terjadi.

**3.5 DESAIN ALAT BANTU**

Desain alat bantu dibuat berdasar studi lapangan yang terdapat di PT. Bonjor Jaya Ceper, Klaten Propinsi Jawa Tengah, dimana dalam kasus ini alat yang dirancang yaitu berupa meja dudukan benda kerja yang digunakan untuk aktivitas penghalusan benda kerja *pulley* yang digambarkan pada gambar 3.2 berikut ini.





**Gambar 3.2 Meja finishing dan posisi operator di PT. Bonjor Jaya**

Gambar 3.2 terlihat bentuk meja sangat sederhana, terbuat dari besi cor yang menyerupai velg dengan tinggi 30 cm dan diameter 20 cm dan posisi operator membungkuk pada saat melakukan aktivitas penghalusan sehingga beban kerja dan besar gaya yang ditimbulkan juga tinggi. Sehingga dalam perancangan meja ini diperlukan suatu desain meja yang dapat memperbaiki posisi pekerja yang bertujuan untuk mengurangi gaya dan beban kerja sehingga pekerja tidak mengalami keluhan pada tubuh pada saat melakukan aktivitas penghalusan. Pembuatan desain alat bantu, digunakan data antropometri pekerja dengan memperhatikan hasil wawancara mengenai keluhan saat melakukan aktivitas penghalusan. Data yang dipakai yaitu data tinggi siku berdiri pekerja yang kemudian menggunakan *percentile* ke 5 untuk tinggi minimum dan *percentile* ke 95 untuk tinggi maksimum.

### **3.6 SIMULASI HASIL RANCANGAN DENGAN *SOFTWARE* BLENDER**

Setelah desain meja selesai dirancang, dilakukan simulasi terhadap alat bantu meja yang dirancang. Simulasi berupa elemen-elemen kerja operator dalam melakukan aktivitas penghalusan dan posisi operator dalam melakukan aktivitas. Untuk mensimulasikan desain ulang meja dudukan benda kerja *pulley* digunakan *software blender*, yaitu *software* yang berupa simulasi operator dalam melakukan suatu aktivitas.

*commit to user*

### 3.7 MENGEVALUASI HASIL RANCANGAN

Setelah disimulasikan melalui *software blender*, maka dilakukan perhitungan kembali dengan metode *local refferency system* (LRS) terhadap tiap elemen kerja operator setelah perbaikan.

### 3.8 ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Tahap analisis dan interpretasi hasil berisi tentang perbedaan nilai gaya dan posisi postur pekerja sebelum perbaikan dan sesudah perbaikan. Kemudian perancangan fasilitas alat setelah perbaikan dapat memperbaiki dan mengurangi gaya yang terjadi di tiap segmen tubuh operator.

### 3.9 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada tahap ini akan membahas kesimpulan dari hasil pengolahan data. Kesimpulan yang diambil memperhatikan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian. Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya diperoleh berdasarkan atas kelemahan maupun hambatan yang ditemui selama proses penelitian.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data dalam penelitian. Proses pengumpulan data meliputi pengambilan gambar meja sebagai alat bantu penghalusan, posisi tubuh operator, pengukuran anthropometri, pengukuran sudut segmen tubuh, pengukuran jarak beban terhadap pusat momen pada segmen tubuh, dan pengukuran beban angkat maksimal. Proses pengolahan data meliputi analisa biomekanika pada segmen tubuh yang sering mengalami keluhan, perhitungan presentase penggunaan gaya otot, *assessment* anggota gerak atas dan bawah segmen tubuh dengan metode *local refferency system* (LRS), perancangan desain ulang meja sebagai alat bantu penghalusan, simulasi hasil rancangan ulang meja, dan analisa biomekanika terhadap desain ulang meja sebagai alat bantu penghalusan.

Penelitian mengenai gaya dan posisi postur kerja pada operator bagian *finishing*, diperlukan data hasil pengukuran. Data yang dikumpulkan berupa jenis fasilitas kerja, gambaran aktivitas pengeboran rom, model *body segmen extrimity*, sudut dan jarak arah gaya, dan beban angkat maksimal.

#### 4.1 PENGUMPULAN DATA

Fasilitas meja finishing di pengecoran logam PT Bonjor Jaya dapat ditunjukkan dalam gambar 4.1.

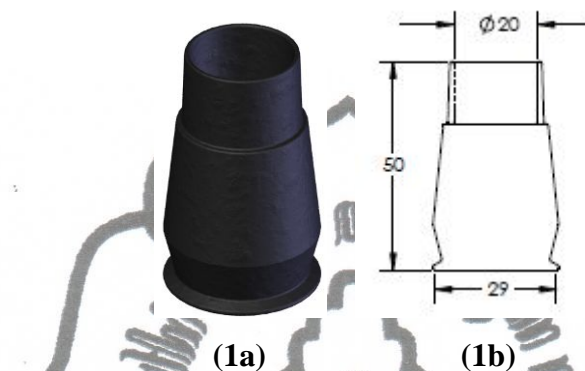


**Gambar 4.1 Meja dan alat finishing**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

Meja dudukan yang digunakan untuk proses penghalusan benda kerja *pulley* berupa bekas *velg* besi yang diletakan pada lantai dengan diameter 17 inchi. Dimensi meja dudukan benda kerja *pulley* kurang memperhitungkan ukuran

*pulley* dan berat *pulley*, sehingga ketika melakukan proses penghalusan, posisi tubuh operator terlalu membungkuk yang dapat menyebabkan keluhan *musculoskeletal*. Kedudukan meja dudukan *pulley* terlalu rendah yaitu hanya 30 cm terhadap lantai, sehingga operator sering membungkuk untuk melakukan aktivitas penghalusan. Meja dudukan *pulley* beserta dimensi meja ditampilkan pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2 (1a) Meja dudukan pulley, (1b) Dimensi meja dudukan pulley**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

Penentuan objek penelitian untuk perhitungan gaya dilakukan pengukuran tinggi badan dan berat badan terhadap lima operator gerinda pada proses penghalusan *pulley*. Hasil pengukuran tinggi dan berat badan 5 operator, dihasilkan tinggi rata-rata 171,3 cm dan berat badan 66,2 kg. Berdasarkan hasil pengukuran ini, ditentukan objek penelitian untuk menentukan perhitungan gaya diambil sampel dari salah satu operator gerinda pada proses penghalusan *pulley*, sebagai berikut:

Nama	: Wagiman
Usia	: 42 tahun
Tinggi badan	: 170 cm
Berat badan	: 67 kg

Objek penelitian perhitungan gaya pada 5 operator ditentukan pada tinggi dan berat badan yang sama atau mendekati nilai rata-ratanya. Hal ini bertujuan agar nilai yang dihasilkan, dapat mewakili kondisi yang sebenarnya. Sedangkan data lain yang diperlukan untuk menghitung gaya, sebagai berikut:

*commit to user*

**Tabel 4.1 Data anthropometri salah satu operator proses penghalusan**

TANGAN	PANJANG
Arm right	18 cm
Arm left	18 cm
Upper arm right	25 cm
Upper arm left	25 cm
Lower arm right	27 cm
Lower arm left	27 cm
BADAN	PANJANG
Torso	45 cm
Hip	16 cm
KAKI	PANJANG
Thigh right	42 cm
Thigh left	42 cm
Shank right	41 cm
Shank left	41 cm
Foot right	22 cm
Foot left	22 cm

**4.1.1 Aktivitas Proses Penghalusan Pulley**

Sikap kerja operator gerinda pada proses penghalusan di PT Bonjor Jaya diperoleh beberapa elemen kerja gerakan ditampilkan pada gambar 4.3.

**Gambar 4.3 Aktivitas penghalusan di PT Bonjor Jaya**

Keempat aktivitas pada gambar 4.3 merupakan rangkaian aktivitas pada stasiun penghalusan *pulley* yang dengan sekali proses dapat menghasilkan 20 *pulley* yang memiliki diameter dan berat yang berbeda. Aktivitas ini berpotensi terjadinya resiko keluhan *musculoskeletal* karena posisi tubuh yang terlalu membungkuk dan alat bantu meja yang ada ukurannya kecil. Tingkat resiko cedera pada aktivitas tersebut dapat diketahui dengan melakukan analisis aktivitas kerja

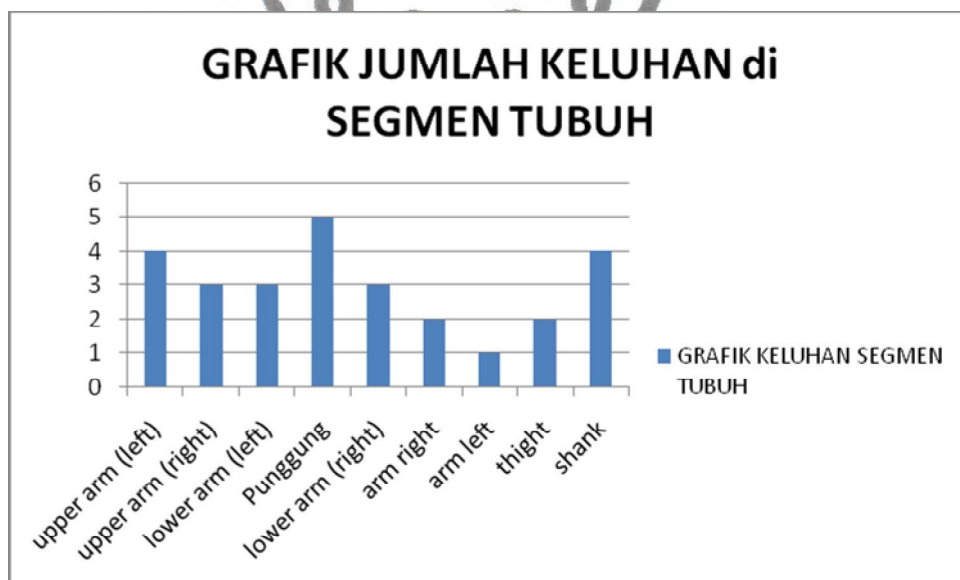


dengan penyebaran kuesioner *nordic body map* terhadap 5 operator. Kuesioner disusun berupa pertanyaan mengenai segmen tubuh yang mengalami keluhan ketika melakukan semua elemen kerja gerakan menggerinda. Hasil kuesioner melalui *nordic body map* terhadap 5 operator penghalusan terlihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Jumlah keluhan di setiap segmen tubuh**

No	Segmen tubuh	operator ke-					Jumlah	Presentase Tingkat Keluhan
		1	2	3	4	5		
1	upper arm (left)	√	√	√	√		4	80.00%
2	upper arm (right)		√		√	√	3	60.00%
3	lower arm (left)		√		√	√	3	60.00%
4	torso (punggung)	√	√	√	√	√	5	100.00%
5	lower arm (right)	√		√		√	3	60.00%
6	arm right		√	√			2	40.00%
7	arm left	√					1	20.00%
8	thigh		√	√		√	2	40.00%
9	shank	√	√		√	√	4	80.00%

Tabel 4.2 diketahui lima operator mengalami keluhan yang berbeda di setiap segmennya. Tanda *checklist* (√) menunjukkan bagian segmen tubuh operator mengalami keluhan. Grafik jumlah keluhan di tiap segmen pada lima operator digambarkan dalam gambar grafik 4.4.



**Gambar 4.4 Grafik jumlah keluhan di tiap segmen tubuh**

Grafik pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa terdapat empat segmen tubuh yang mengalami keluhan tertinggi dengan tingkat persentase lebih dari 50% yaitu

segmen ke-1 (bahu kiri), ke-2 (bahu kanan), ke-3(lengan atas kiri), ke-4 (punggung), ke-5 (lengan atas kanan), dan ke-11 (betis).

#### 4.1.2 Model Body Segmen Upper Anggota Gerak Atas

Keempat aktivitas yang mempunyai tingkat resiko keluhan tertinggi tersebut digambarkan dalam bentuk pemodelan gerakan segmen tubuh dengan tujuan untuk menganalisis beban pada segmen tubuh berdasarkan pendekatan biomekanika. Empat model aktivitas yang mempunyai tingkat keluhan tertinggi dapat dijelaskan yaitu:

##### 1. Posisi menggerinda.

Posisi menggerinda merupakan aktivitas menggerinda dengan segmen yang paling berpengaruh adalah pada punggung, dan lengan kiri Posisi menggerinda ditampilkan pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5 Aktivitas menggerinda pulley**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

##### 2. Posisi membalikkan pulley,

Posisi membalikkan *pulley* merupakan aktivitas mengangkat dan membalikkan *pulley* dengan segmen yang paling berpengaruh adalah pada punggung dan kedua lengan karena pada lengan kanan mengangkat *pulley* dan pada lengan kiri memegang mesin gerinda. Kaki tidak begitu berpengaruh karena posisi kaki konstan dan tidak terlalu mendapat pembebanan. Posisi membalikkan *pulley* ditampilkan pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6 Aktivitas membalikkan pulley**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

**3. Posisi menggerinda sisi samping pulley,**

Posisi menggerinda sisi samping *pulley* merupakan aktivitas menggerinda sisi samping *pulley* dengan segmen yang paling berpengaruh adalah pada punggung dan kedua lengan, sama seperti pada saat mengangkat *pulley* tetapi beban lebih ringan karena *pulley* diletakkan pada meja secara vertikal sehingga pembebanan tidak terlalu berat. Posisi menggerinda sisi samping *pulley* ditampilkan pada gambar 4.7.



**Gambar 4.7 Aktivitas menggerinda sisi samping pulley**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

**4. Posisi menurunkan pulley,**

Posisi menurunkan *pulley* merupakan aktivitas menggerinda sisi samping *pulley* dengan segmen yang paling berpengaruh adalah pada punggung dan kedua lengan, tetapi lengan kanan tidak terlalu berat mengalami pembebanan

*commit to user*

karena posisi *pulley vertical* di atas meja duduk. Posisi menurunkan *pulley* ditampilkan pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8 Aktivitas menurunkan pulley**

Sumber: PT. Bonjor Jaya, 2010

## **4.2 PENGOLAHAN DATA**

Data hasil pengukuran yang terdiri dari berat badan operator, tinggi operator, sudut segmen operator, jarak arah gaya pada segmen tubuh yang terpengaruh gaya, dan gambar *free body diagram* operator dianalisis dengan biomekanika dan metode *local refferency system* (LRS). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui besar gaya yang dihasilkan pada segmen tangan, badan, dan kaki dan persentase penggunaan gaya otot, serta penentuan berat tubuh tiap segmen.

### **4.2.1 Penentuan Berat Tiap Segmen Tubuh**

Pada penentuan massa tiap segmen, tubuh manusia digambarkan sebagai *stick diagram* seperti pada pemodelan Dempster (1955) dalam Chaffin, (1999). Persentase massa segmen tubuh ditentukan berdasarkan pemodelan distribusi berat tubuh (Webb Associates, 1978).

**Tabel 4.3 Pemodelan distribusi berat badan**

Group Segment (%) of Total Body Weight		Individual Segment (%) of Group Segment Weight	
Head and Neck	8,4 %	a. Head	73,80 %
		b. Neck	26,80 %
Torso	50,0 %	a. Thorax	43,80 %
		b. Lumbar	29,40 %
		c. Pelvis	26,80 %
Total Arm	5,10 %	a. Upperarm	54,90 %
		b. Forearm	33,30 %
		c. Hand	11,80 %
Total Leg	15,70 %	a. Thigh	63,70 %
		b. Shank	27,40 %
		c. Foot	8,90 %

Sumber: Webb Associates, 1978

Berat tubuh dapat dibagi tiap segmen. Berat tubuh tiap segmen dapat dibagi dengan menggunakan proporsi berat tubuh. Berat tubuh tiap segmen ditampilkan dalam tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Hasil distribusi berat badan**

Proporsi Berat Tubuh (kg)					
Segmen Tubuh		Individual Segmen Tubuh (kg)			Kiri   Kanan
Head and Neck	8.40%	Head	73.80%	49.446	58.22
		Neck	26.20%	17.554	
Torso	50.00%	Thorax	43.80%	29.346	55.03
		Lumbar	29.40%	19.698	
		Pelvis	26.80%	17.956	
Total Arm left/right	10.20%	Upper arm	59.40%	39.798	19.90   19.90
		Forearm	33.30%	22.311	11.16   11.16
		Hand	11.80%	7.906	3.95   3.95
Total Leg	15.70%	Thigh	63.70%	42.679	42.68   42.68
		Shank	27.40%	18.358	18.36   18.36
		Foot	8.90%	5.963	5.96   5.96

Sumber: Webb Associates, 1978

Tabel 4.4 menampilkan hasil perhitungan berat tubuh per segmen dari seluruh tubuh, sehingga dapat digunakan untuk menghitung gaya pada tiap segmen tubuh.

#### 4.2.2 Menentukan Gaya Pada Operator Finishing

Berikut ini adalah formulasi yang digunakan untuk menghitung gaya dan momen pada setiap pekerja, sehingga diketahui beban kerja pada segmen tubuh yang mana yang paling besar tiap elemen kerja. Berdasarkan hukum Newton

*commit to user*



mengenai aksi reaksi. Gaya berat tubuh ( $W$ ) memberikan reaksi ke atas berupa gaya normal ( $FN$ ). Rumus pencarian terhadap gaya normal ( $FN$ ), yaitu:

$$\mathbf{F}_N \times \mathbf{r}_N = \mathbf{W}_1 \times \mathbf{r}_1 + \mathbf{W}_2 \times \mathbf{r}_2 + \mathbf{W}_3 \times \mathbf{r}_3 + \mathbf{W}_4 \times \mathbf{r}_4 + \mathbf{W}_5 \times \mathbf{r}_5 + \mathbf{W}_s \times \mathbf{r}_s + \mathbf{W}_6 \times \mathbf{r}_6$$

#### 4.2.3 Elemen Kerja 1 : Posisi Operator Menggerinda

Sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 1 ditampilkan dalam tabel 4.5.

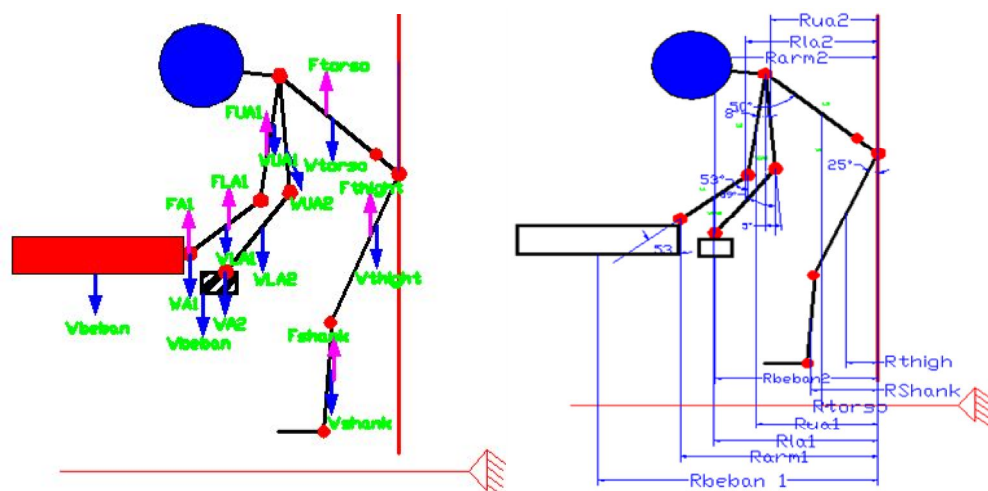
**Tabel 4.5 Sudut segmen tubuh elemen kerja 1**

Segmen tubuh	Sudut
Arm right	53°
Arm left	39°
Lower arm right	53°
Lower arm left	39°
Upper arm right	8°
Upper arm left	5°
Torso	50°
Thigh	25°
Shank	25°

Pada tabel 4.5 terdapat sudut tiap segmen tubuh yang digunakan untuk menghitung gaya sesuai *free body diagram*.

**1. Gaya pada arm 1 (right)**

Komponen penyusun gaya tiap segmen pada *arm* 1 pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.9 Free body diagram gaya pada arm 1 (kanan)**

Pada gambar 4.9 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian, sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *arm 1* (kanan) elemen kerja 1.

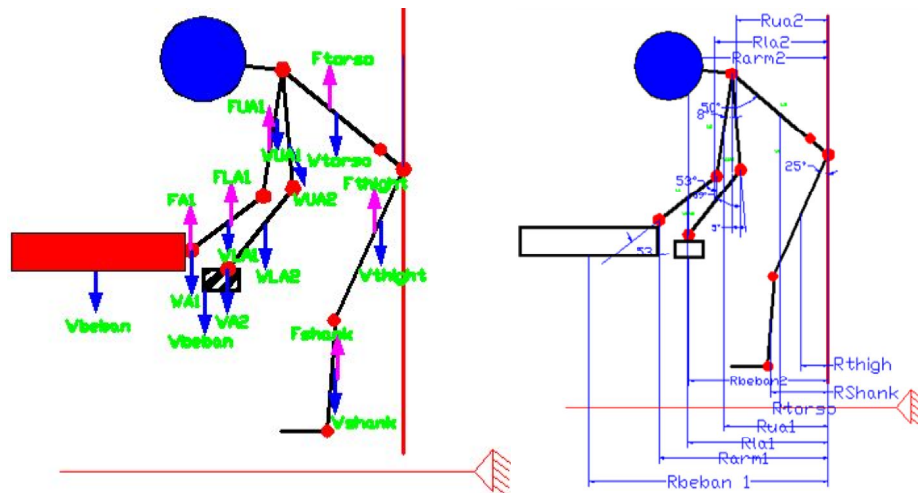
$$\begin{aligned}
 \sum M_{\text{Hip}} &= 0 \\
 &= (F_{\text{arm1}} \times R_{\text{arm1}}) - (W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) - (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) - (W_{\text{arm2}} \times R_{\text{arm2}}) - (W_{\text{La2}} \times R_{\text{La2}}) \\
 &\quad - (W_{\text{ua2}} \times R_{\text{ua2}}) - (W_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times R_T) - (W_{\text{beban1}} \times R_{\text{beban1}}) \\
 &\quad - (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}}) \\
 (F_{\text{arm1}} \times R_{\text{arm1}}) &= (W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) + (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) + (W_{\text{arm2}} \times R_{\text{arm2}}) + (W_{\text{La2}} \times R_{\text{La2}}) + \\
 &\quad (W_{\text{ua2}} \times R_{\text{ua2}}) + (W_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + \\
 &\quad (W_{\text{beban1}} \times R_{\text{beban1}}) + (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}}) \\
 F_{\text{arm1}} &= [(W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) + (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) + (W_{\text{arm2}} \times R_{\text{arm2}}) + (W_{\text{La2}} \times R_{\text{La2}}) + (W_{\text{ua2}} \times R_{\text{ua2}}) \\
 &\quad + (W_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{\text{beban1}} \times R_{\text{beban1}}) + (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}})] / (R_{\text{arm1}}) \\
 F_{\text{arm1}} &= [(11,16)(13,5 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) \\
 &\quad + (3,95)(9 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 51^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) \\
 &\quad + (19,90)(13,5 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 50^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) \\
 &\quad + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ \\
 &\quad + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) \\
 F_{\text{arm1}} &= \frac{7223,8}{66,7} \\
 &= 108 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{\text{arm1}}$  (gaya pada *arm* kanan) didapatkan gaya sebesar 108 N.

## 2. Gaya pada lower arm 1

Komponen penyusun gaya tiap segmen *lower arm 1* pada elemen kerja 1 dipaparkan pada gambar 4.10.

*commit to user*



**Gambar 4.10 Free body diagram gaya pada lower arm 1( kanan)**

Pada gambar 4.10 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm 1* (kanan) elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{La1} \times R_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times R_T) - \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 (F_{La1} \times r_{La1}) &= (W_{arm1} \times R_{a1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua2}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + \\
 &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times r_T) + \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_{La1} &= [(W_{arm1} \times R_{a1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + \\
 &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban} \times \\
 &\quad R_{beban}) + (W_{beban} \times R_{beban})] / (R_{La1}) \\
 F_{La1} &= [(3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,90) \\
 &\quad (12,5 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (3,95)(9 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + \\
 &\quad 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 39^\circ + 2 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,90) \\
 &\quad (12,5 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 50^\circ) + 2(18,36) \\
 &\quad (20,5 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10) \\
 &\quad (20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + \\
 &\quad 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)
 \end{aligned}$$

$$\frac{(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)}{(13,5 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ)}$$

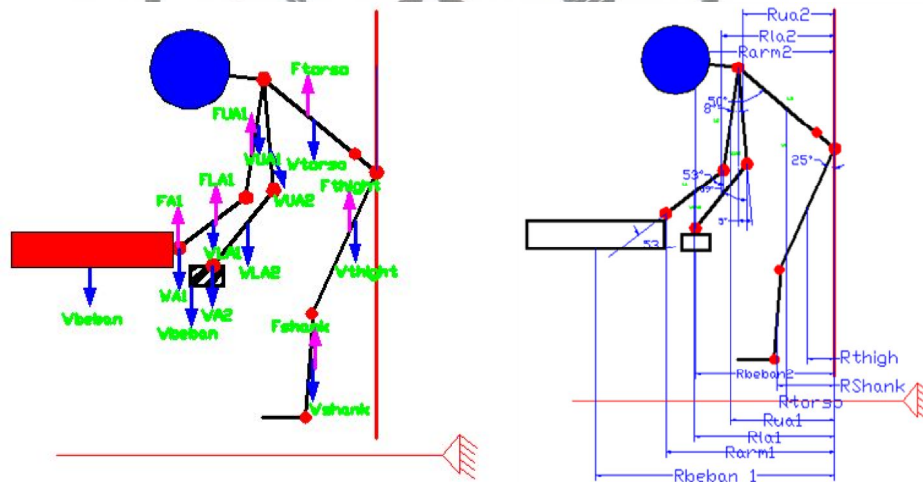
$$F_{La1} = \frac{6922,4}{48,73}$$

$$= 142 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm* 1 kanan) didapatkan gaya sebesar 142 N.

### 3. Gaya pada upper arm 1

Komponen penyusun gaya tiap segmen *upper arm* 1 pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.11 Free body diagram gaya pada upper arm 1 (kanan)**

Pada gambar 4.11 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm* 1 (kanan) elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (F_{La1} \times R_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) \\ &\quad - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) - \\ &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \end{aligned}$$

*commit to user*

$$(F_{Ua1} \times r_{Ua1}) = (W_{arm1} \times R_{a1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})$$

$$F_{Ua1} = [(W_{arm1} \times R_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{Ua1})$$

$$F_{Ua1} = [(3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 50^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) + 2(42,68)(21, \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (22,5 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ)$$

$$F_{Ua1} = \frac{6744,8}{37,6}$$

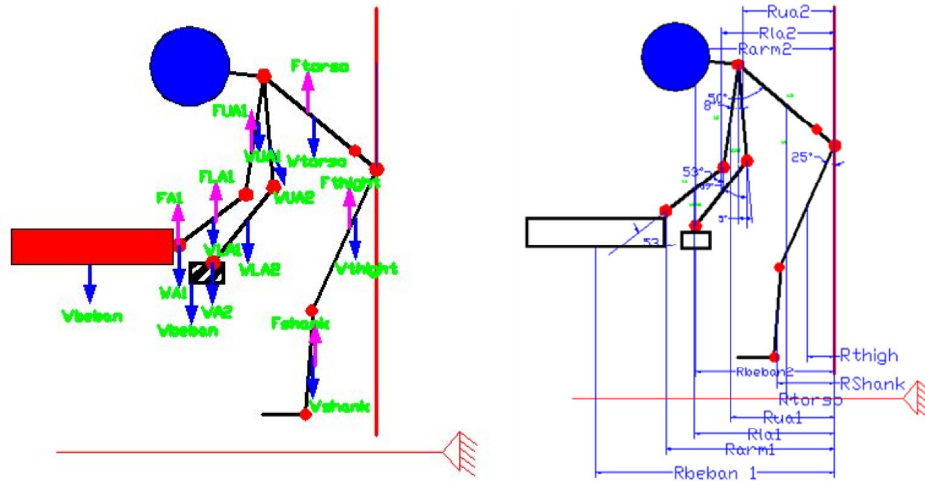
$$= 179,3 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua1}$  (gaya pada *upper arm* 1 kanan) didapatkan gaya sebesar 179,3 N.

#### 4. Gaya pada arm 2 (left)

Komponen penyusun gaya tiap segmen *arm* 2 (kiri) pada elemen kerja 1 dipaparkan pada gambar 4.12. Gambar 4.12 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *arm* 2 (kiri) elemen kerja 1.




$$\begin{aligned} & \times R_{arm2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) \\ & - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\ & = (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) \\ & + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\ & = (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) \\ & + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \end{aligned}$$

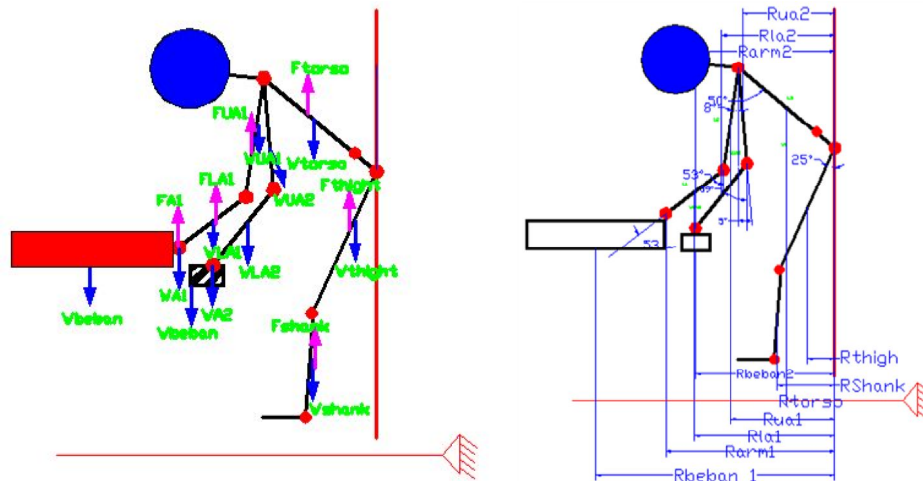
*commit to user*



Hasil perhitungan  $F_{arm2}$  (gaya pada *arm 2* kiri) didapatkan gaya sebesar 121 N.

## 5. Gaya pada lower arm 2

Komponen penyusun gaya tiap segmen *lower arm 2* (kiri) pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.13 Free body diagram gaya pada lower arm 2 (left)

Pada gambar 4.13 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm 2* (kiri) elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

$$= (F_{La2} \times R_{La2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) - (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2})$$

$$(F_{La2} \times R_{La2}) = (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (F_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})$$

$$F_{La2} = [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (F_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{La2})$$

$$F_{La2} = [(3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 8^\circ + 45$$

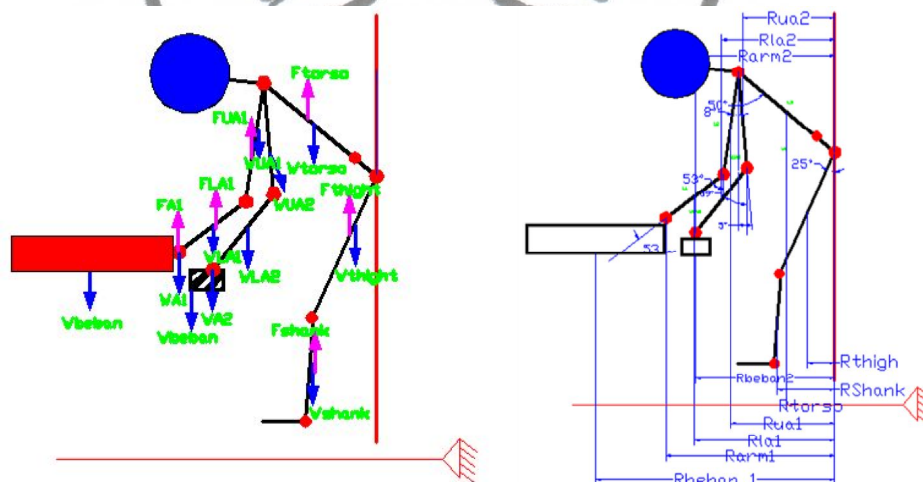
$$\begin{aligned} & \sin 50^\circ) + (3,95) (9 \sin 53^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) \\ & + (19,9) (12,5 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (55,03) (22,5 \sin 50^\circ) + 2 \\ & (18,36) (20,5 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) + 2(42,68) (21 \sin 25^\circ) + (10) \\ & (20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin \\ & 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3) (18 \\ & \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) / \\ & (13,5 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{La2} &= \frac{6960,2}{45,1} \\ &= 154,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{La2}$  (gaya pada *lower arm* 2 kiri) didapatkan gaya sebesar 154,3 N.

## 6. Gaya pada upper arm 2

Komponen penyusun gaya tiap segmen *upper arm 2* (kiri) pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.14 Free body diagram gaya pada upper arm 2 (left)**

Gambar 4.14 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm 2* (kiri) elemen kerja 1.

$$\begin{aligned}
\sum M_{Hip} &= 0 \\
&= (F_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
&\quad - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) - \\
&\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
(F_{ua2} \times R_{ua2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
&\quad + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + \\
&\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
F_{ua2} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
&\quad + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T)] / (R_{ua2}) \\
F_{ua2} &= [(3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16) \\
&\quad (3,5 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) \\
&\quad + (11,16)(13,5 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + (10)(20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (23,5 \sin 39^\circ + 45 \sin 50^\circ) \\
F_{ua2} &= \frac{6793,8}{49,26} \\
&= 137,9 \text{ N}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua2}$  (gaya pada *upper arm* 2 kiri) didapatkan gaya sebesar 137,9 N.



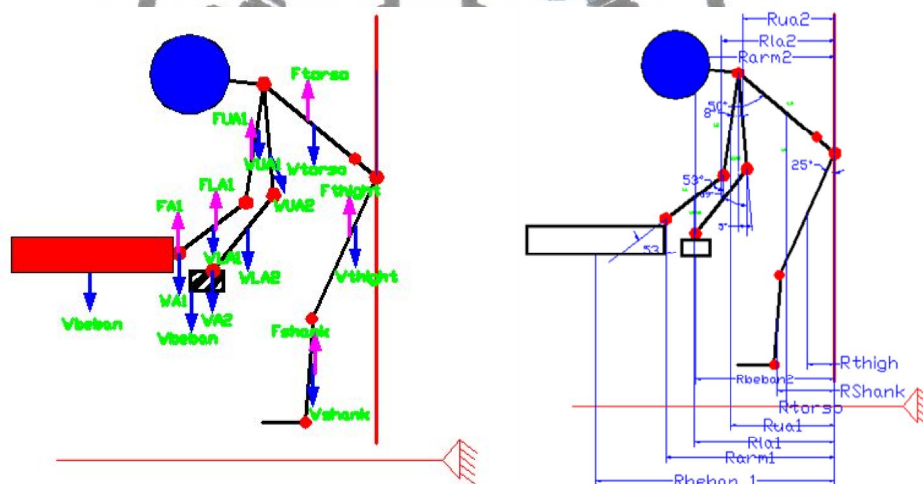
$$\begin{aligned} & \sin 25^\circ) + 2(42,68 \times 21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ \\ & + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin \\ & 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin \\ & 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) / (22,5 \sin 50^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{torso}} &= \frac{6554,8}{17,2} \\ &= 381 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{\text{torso}}$  (gaya pada badan) didapatkan gaya sebesar 381 N.

### 8. Gaya pada Shank

Komponen penyusun gaya tiap segmen *shank* pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.16 Free body diagram gaya pada shank

Pada gambar 4.16 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{Hip}} &= 0 \\ &= 2(F_s \times r_s) - (W_{\text{arm1}} \times R_{\text{arm1}}) - (W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) - (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) - (W_{\text{arm2}} \times \\ & R_{\text{arm2}}) - (W_{\text{La2}} \times R_{\text{La2}}) - (W_{\text{ua2}} \times R_{\text{ua2}}) - (F_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) - 2(W_T \times R_T) - \\ & (W_{\text{beban1}} \times R_{\text{beban1}}) - (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}}) \end{aligned}$$

*commit to user*



$$2 (F_s \times r_s) = (W_{\text{arm1}} \times R_{\text{arm1}}) + (W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) + (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) + (W_{\text{arm2}} \times R_{\text{arm2}}) + \\ (W_{\text{La2}} \times R_{\text{La2}}) + (W_{\text{Ua2}} \times R_{\text{Ua2}}) + (F_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) + 2(W_T \times R_T) + \\ (W_{\text{beban1}} \times R_{\text{beban1}}) + (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}})$$

$$F_s = [(W_{\text{arm1}} \times R_{\text{arm1}}) + (W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) + (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) + (W_{\text{arm2}} \times R_{\text{arm2}}) + (W_{\text{La2}} \\ \times R_{\text{La2}}) + (W_{\text{Ua2}} \times R_{\text{Ua2}}) + (F_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) + 2(W_T \times R_T) + (W_{\text{beban1}} \times R_{\text{beban1}}) \\ + (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}})] / 2R_s$$

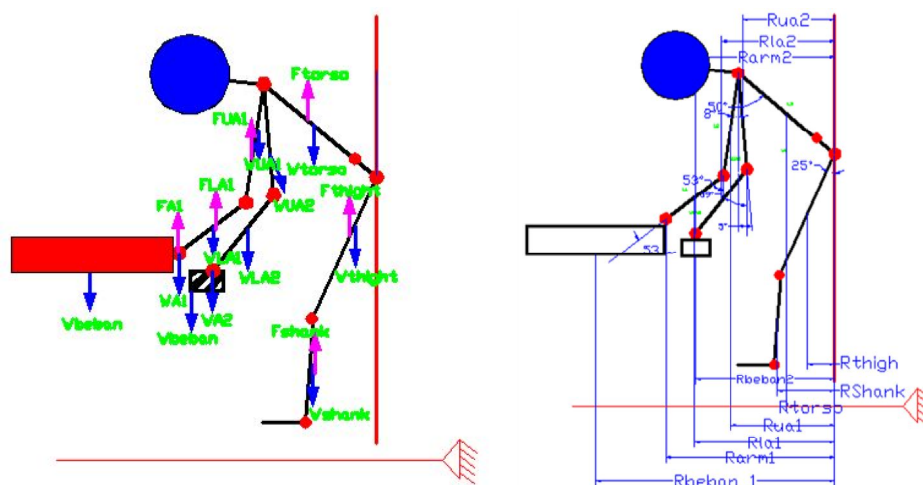
$$F_s = [(3,95) (9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16) (13,5 \sin \\ 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (3,95)(9 \\ \sin 53^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 39^\circ + 25 \\ \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin \\ 50^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10) (20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \\ \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \\ \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \\ \sin 25^\circ)] / 2 (20,5 L_s \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ)$$

$$F_s = \frac{9412,52}{52,82} \\ = 178,2 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank*) didapatkan gaya sebesar 178,2 N.

## 9. Gaya pada Thight

Komponen penyusun gaya tiap segmen *thight* pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.17 Free body diagram gaya pada thigh

Gambar 4.17 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *thight* elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= 2(F_T \times R_T) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (F_{torso} \times R_{torso}) - 2(F_s \times R_s) - \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 2(F_T \times R_T) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + \\
 &\quad (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (F_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_T &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + \\
 &\quad (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (F_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / 2R_T \\
 F_T &= [(3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + \\
 &\quad (19,9)(12,5 \sin 8^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (3,95)(9 \sin 53^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + \\
 &\quad (19,9)(12,5 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 50^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 53^\circ + 27 \sin 53^\circ + 25 \sin 8^\circ + 18 \sin 39^\circ + 27 \sin 39^\circ + 25 \sin 5^\circ + 45 \sin 50^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + \\
 &\quad (3)(18 \sin 39^\circ + 13,5 \sin 39^\circ + 22,5 \sin 50^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / 2(21 \sin 25^\circ) \\
 F_T &= \frac{6745,7}{17,74} \\
 &= 380 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_T$  (gaya pada *thight*) didapatkan gaya sebesar 380 N.

#### 4.2.3 Elemen Kerja 2 : Posisi Operator Membalikkan Pulley

Sudut-sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 2 ditampilkan dalam tabel 4.7.

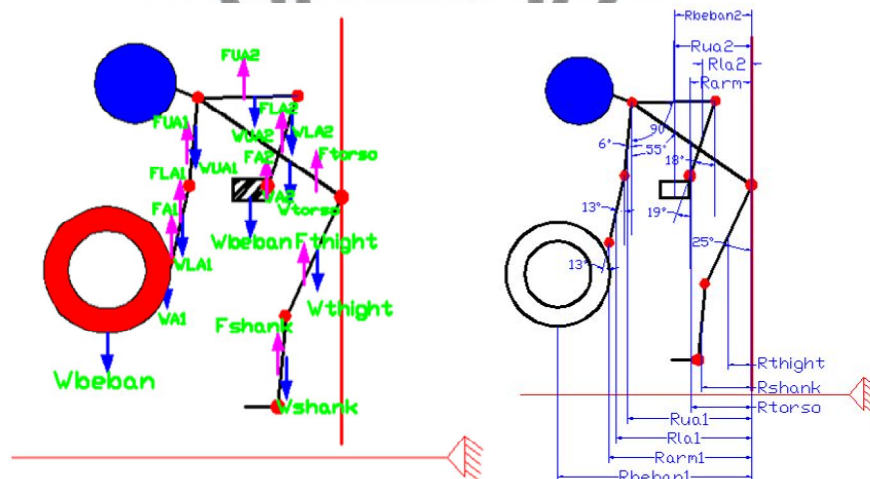
Tabel 4.7 Sudut segmen tubuh pada elemen kerja 2

Segmen tubuh	Sudut
Arm right	13°
Arm left	18°
Lower arm right	13°
Lower arm left	18°
Upper arm right	6°
Upper arm left	90°
Torso	55°
Thigh	25°
Shank	25°

Pada tabel 4.7 terdapat sudut tiap segmen tubuh yang akan digunakan untuk menghitung gaya yang sebelumnya telah dibuat *free body diagram*.

##### a. Gaya pada arm 1 (right)

Komponen penyusun gaya segmen arm 1 pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.18 Free body diagram gaya pada arm 1 (right)

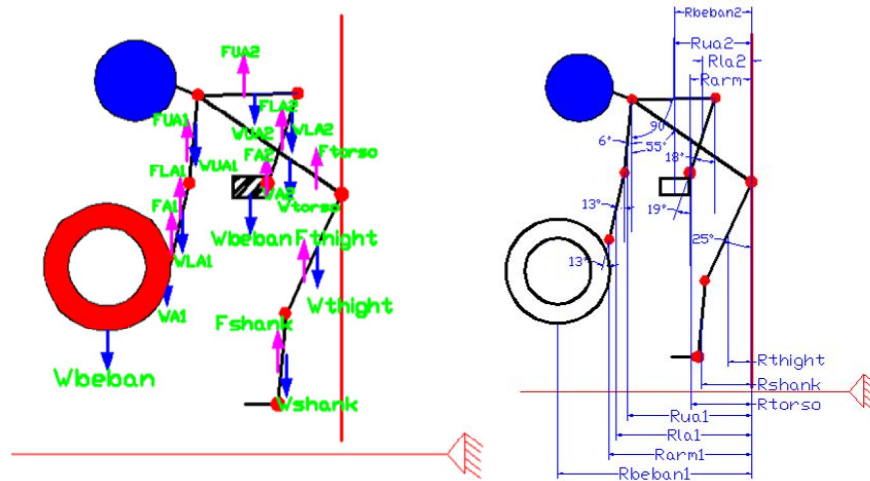
Gambar 4.18 menunjukkan gaya berat (W) dan gaya ke atas (F) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada arm 1 elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum M_{Hip} &= 0 \\
&= (F_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - \\
&\quad (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - \\
&\quad 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
(F_{arm1} \times R_{arm1}) &= (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) \\
&\quad + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + \\
&\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
F_{arm1} &= [(W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times \\
&\quad R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + \\
&\quad (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{arm1}) \\
F_{arm1} &= [(11,16)(13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 6^\circ + \\
&\quad 45 \sin 55^\circ) + (3,95)(9 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin \\
&\quad 55^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 18^\circ + 12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) \\
&\quad (12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 55^\circ) + 2(18,36) \\
&\quad (20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + \\
&\quad 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin \\
&\quad 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin \\
&\quad 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ \\
&\quad + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) \\
F_{arm1} &= \frac{7456,7}{47,57} \\
&= 156,7 \text{ N}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{arm1}$  (gaya pada *arm* 1) didapatkan gaya sebesar 156,7 N.

### b. Gaya pada lower arm 1

Komponen penyusun gaya segmen *lower arm 1* pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.19 Free body diagram gaya pada lower arm 1(right)

Gambar 4.19 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm 1* elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{La1} \times R_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{ua1} \times R_{ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - \\
 &\quad (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - \\
 &\quad 2(W_T \times R_T) - (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{benda2} \times R_{benda2}) \\
 (F_{La1} \times R_{La1}) &= (W_{arm1} \times R_{a1}) + (W_{ua1} \times R_{ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + \\
 &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + \\
 &\quad W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_{La1} &= [(W_{arm1} \times R_{a1}) + (W_{ua1} \times R_{ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times \\
 &\quad R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + \\
 &\quad (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{La1}) \\
 F_{La1} &= [(3,95)(9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9)(12,5 \sin \\
 &\quad 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (3,95)(9 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin \\
 &\quad 55^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9)(13,5 \\
 &\quad \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 55^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 25^\circ \\
 &\quad + 42 \sin 25^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin
 \end{aligned}$$



$$13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ)$$

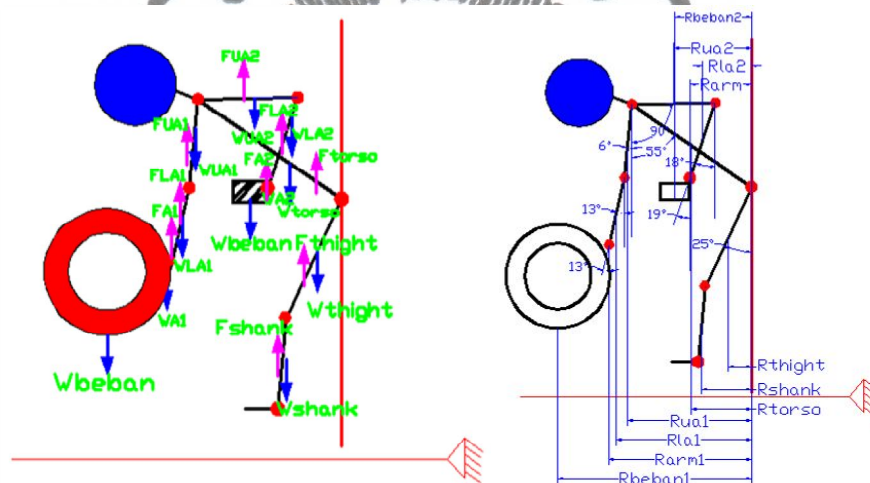
$$F_{La1} = \frac{7170,2}{42,51}$$

$$= 168,6 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm 1*) didapatkan gaya sebesar 168,6 N.

### c. Gaya pada upper arm 1

Komponen penyusun gaya segmen *upper arm 1* pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.20 Free body diagram gaya pada upper arm 1(right)**

Gambar 4.20 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada upper arm 1 elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

$$= (F_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (F_{La1} \times R_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) - (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2})$$

$$(F_{Ua1} \times r_{Ua1}) = (W_{arm1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})$$

$$F_{Ua1} = [(W_{arm\ 1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{Ua1})$$

$$F_{Ua1} = [(3,95) (9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (3,95) (13,5 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (55,03) (22,5 \sin 55^\circ) + 2(18,36) (20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + 2(42,68) (21 \sin 25^\circ) + (10) (20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (12,5 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ)$$

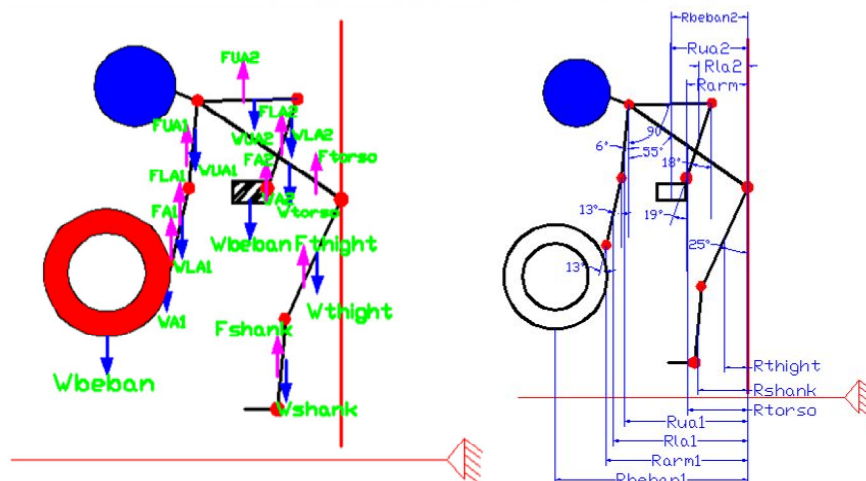
$$F_{Ua1} = \frac{6884,9}{38,1}$$

$$= 180,7 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua1}$  (gaya pada *upper arm* 1) didapatkan gaya sebesar 180,7 N.

#### d. Gaya pada arm 2 (left)

Komponen penyusun gaya segmen *arm* 2 pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.21 Free body diagram gaya pada arm 2 (left)**

Pada gambar 4.21 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap

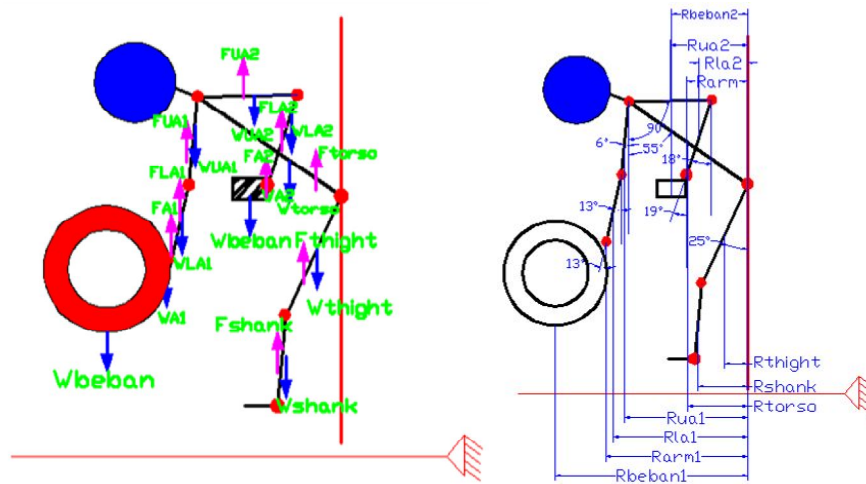
segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada upper arm 1 elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{La2} \times R_{La2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2 (W_s \times R_s) - 2 (W_T \times R_T) + \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 (F_{arm2} \times R_{arm2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + \\
 &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) \\
 &\quad + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_{arm2} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + \\
 &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) \\
 &\quad + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{arm2}) \\
 F_{arm2} &= [(3,95) (9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + \\
 &\quad (19,9) (13,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (13,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + \\
 &\quad (55,03) (22,5 \sin 55^\circ) + 2 (18,36) (20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + 2(42,68) (21 \sin 25^\circ) + (10) (20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (9 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) \\
 F_{arm2} &= \frac{7372,5}{72,9} \\
 &= 101,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{arm2}$  (gaya pada *arm 2*) didapatkan gaya sebesar 101,1 N.

### e. Gaya pada lower arm 2

Komponen penyusun gaya segmen *arm 2* pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.22 Free body diagram gaya pada lower arm 2 (left)**

Gambar 4.22 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm 1* elemen kerja 2, sebagai berikut:

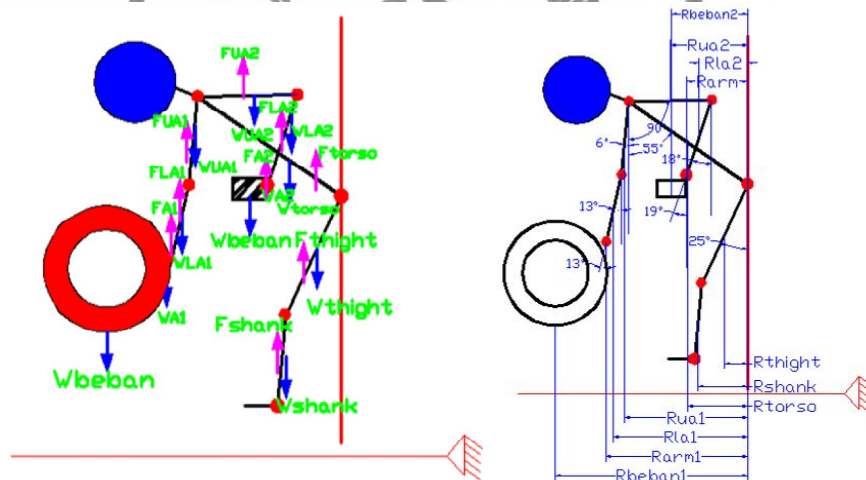
$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \\
 &\quad \times R_{arm2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2 (W_s \times R_s) - 2 (W_T \times R_T) + \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 (F_{La2} \times R_{La2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (F_{arm2} \times R_{arm2}) + ( \\
 &\quad W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times R_s) + 2 (W_T \times R_T) + (W_{beban1} \\
 &\quad \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_{La2} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (F_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{ua2} \\
 &\quad \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times R_s) + 2 (W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) \\
 &\quad + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{La2}) \\
 F_{La2} &= [(3,95) (9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin \\
 &\quad 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (3,95) (9 \\
 &\quad \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 90^\circ + 45 \\
 &\quad \sin 55^\circ) + (55,03) (22,5 \sin 55^\circ) + 2 (18,36 \times 20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) +
 \end{aligned}$$

$$F_{La2} = \frac{2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)]}{66}$$

Hasil perhitungan  $F_{La2}$  (gaya pada *lower arm* 2) didapatkan gaya sebesar 100,3 N.

**f. Gaya pada upper arm 2**

Komponen penyusun gaya segmen *upper arm* 2 pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.23 Free body diagram gaya pada upper arm 2 (left)**

Gambar 4.23 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm* 2 elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times \\ &\quad R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) - \\ &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \end{aligned}$$

*commit to user*



$$(W_{ua2} \times R_{ua2}) = (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\ + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + \\ (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})$$

$$W_{ua2} = [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + \\ (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times \\ R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{ua2})$$

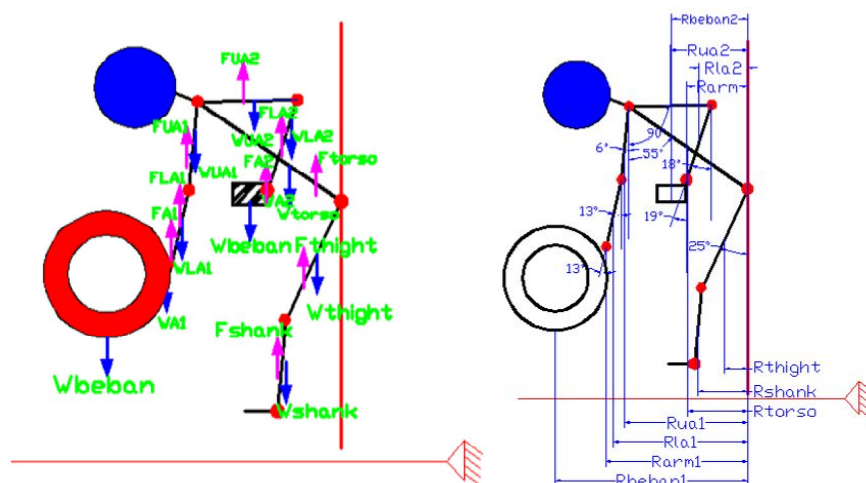
$$W_{ua2} = [(3,95)(9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (3,95)(9 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (55,03)(45 \sin 55^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ)$$

$$W_{ua2} = \frac{6662,3}{49,36} \\ = 134,9 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua2}$  (gaya pada *upper arm* 2) didapatkan gaya sebesar 134,9 N.

#### g. Gaya pada torso

Komponen penyusun gaya segmen badan 2 pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.24 Free body diagram gaya pada torso

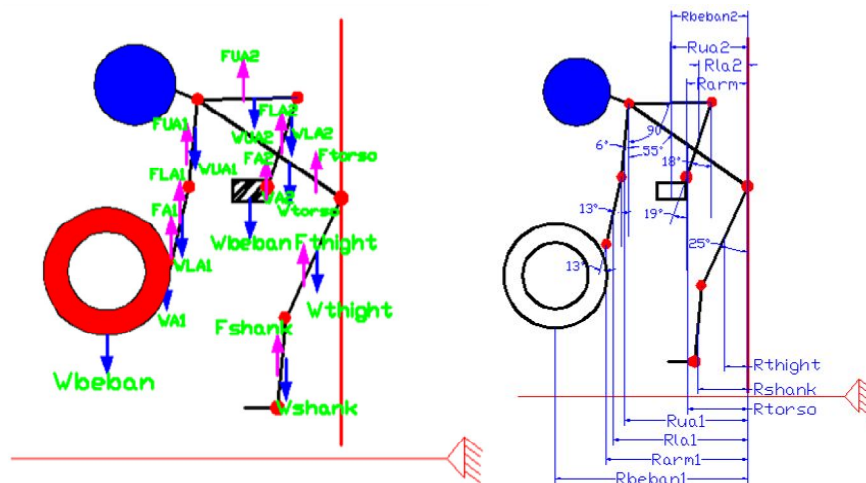
Gambar 4.24 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{torso} \times R_{torso}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 (F_{torso} \times R_{torso}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_{torso} &= [(3,95)(9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (3,95)(9 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + 2(18,36)(L_s \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 25^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (22,5 \sin 55^\circ) \\
 F_{torso} &= \frac{6630,4}{18,4} \\
 &= 360,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_b$  (gaya pada badan) didapatkan gaya sebesar 360,3 N.

### h. Gaya pada shank

Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 2, sebagai berikut:



**Gambar 4.25 Free body diagram gaya pada shank**

Gambar 4.25 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= 2 (F_s \times R_s) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - \\
 &\quad (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (F_{torso} \times R_{torso}) - \\
 &\quad 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 2 (F_s \times r_s) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (F_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_T \times R_T) + \\
 &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\
 F_s &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \\
 &\quad \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (F_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) \\
 &\quad + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / 2R_s \\
 F_s &= [(3,95) (9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin \\
 &\quad 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (3,95) \\
 &\quad (9 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 18^\circ \\
 &\quad + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (55,03) \\
 &\quad (22,5 \sin 55^\circ) + 2(42,68) (21 \sin 25^\circ)(10) (20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin \\
 &\quad 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41
 \end{aligned}$$

$$\sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) / 2(20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ)$$

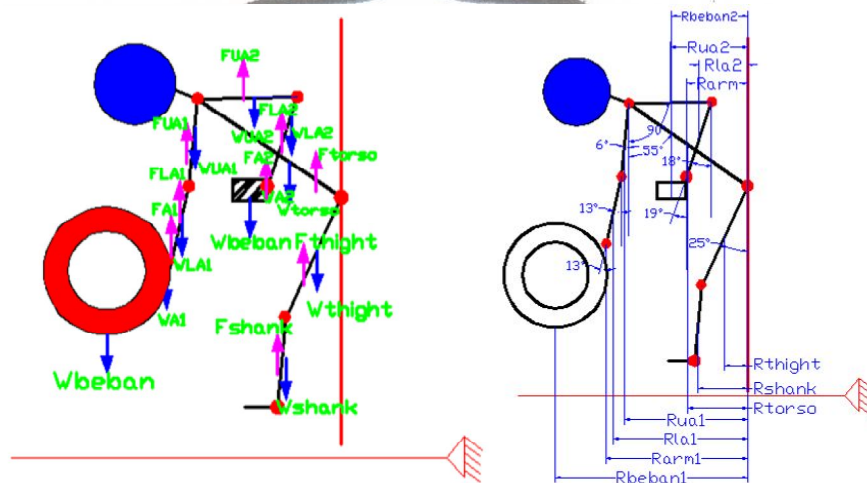
$$F_s = \frac{10375,2}{52,8}$$

$$= 196,5 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank*) didapatkan gaya sebesar 196,5 N.

#### i. Gaya pada *tight*

Perhitungan gaya pada *tight* elemen kerja 2, sebagai berikut:



Gambar 4.26 Free body diagram gaya pada *tight*

Gambar 4.26 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *tight* elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{Hip} &= 0 \\ &= 2(F_T \times R_T) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\ &\quad - (W_{La2} \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (F_{torso} \times R_{torso}) - 2(F_s \times R_s) + \\ &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\ 2(F_T \times R_T) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + \\ &\quad (W_{La2} \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (F_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + (W_{beban1} \\ &\quad \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \end{aligned}$$

*commit to user*

$$\begin{aligned}
 F_T &= [(W_{\text{arm1}} \times R_{\text{arm1}}) + (W_{\text{La1}} \times R_{\text{La1}}) + (W_{\text{Ua1}} \times R_{\text{Ua1}}) + (W_{\text{arm2}} \times R_{\text{arm2}}) + \\
 &\quad (W_{\text{La2}} \times R_{\text{La2}}) + (W_{\text{Ua2}} \times R_{\text{Ua2}}) + (F_{\text{torso}} \times R_{\text{torso}}) + 2 (W_s \times R_s) + (W_{\text{beban1}} \times \\
 &\quad R_{\text{beban1}}) + (W_{\text{beban2}} \times R_{\text{beban2}})] / 2R_T \\
 F_T &= [(3,95) (9 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16 \times \\
 &\quad 13,5 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 6^\circ + 45 \sin 55^\circ) \\
 &\quad + (3,95) (9 \sin 18^\circ + 27 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (11,16) \\
 &\quad (13,5 \sin 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 90^\circ + 45 \sin \\
 &\quad 55^\circ) + (55,03) (22,5 \sin 55^\circ) + 2(18,36) (20,5 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + \\
 &\quad (10) (20,42 + 18 \sin 13^\circ + 27 \sin 13^\circ + 25 \sin 6^\circ + 18 \sin 18^\circ + 27 \sin \\
 &\quad 18^\circ + 25 \sin 90^\circ + 45 \sin 55^\circ + 41 \sin 25^\circ + 42 \sin 25^\circ) + (3)(18 \sin 18^\circ \\
 &\quad + 13,5 \sin 18^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / 2(21 \sin 25^\circ) \\
 F_T &= \frac{6887,1}{17,7} \\
 &= 389,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_t$  (gaya pada *tight*) didapatkan gaya sebesar 389,1 N.

#### 4.2.4 Elemen Kerja 3 : Posisi Operator Membalikkan Pulley

Sudut-sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 1 ditampilkan dalam tabel 4.8

**Tabel 4.8 Sudut segmen tubuh elemen kerja 3**

Segmen tubuh	Sudut
<i>Arm right</i>	43°
<i>Arm left</i>	25°
<i>Lower arm right</i>	43°
<i>Lower arm left</i>	25°
<i>Upper arm right</i>	0°
<i>Upper arm left</i>	72°
<i>Torso</i>	39°
<i>Thigh</i>	12°
<i>Shank</i>	12°

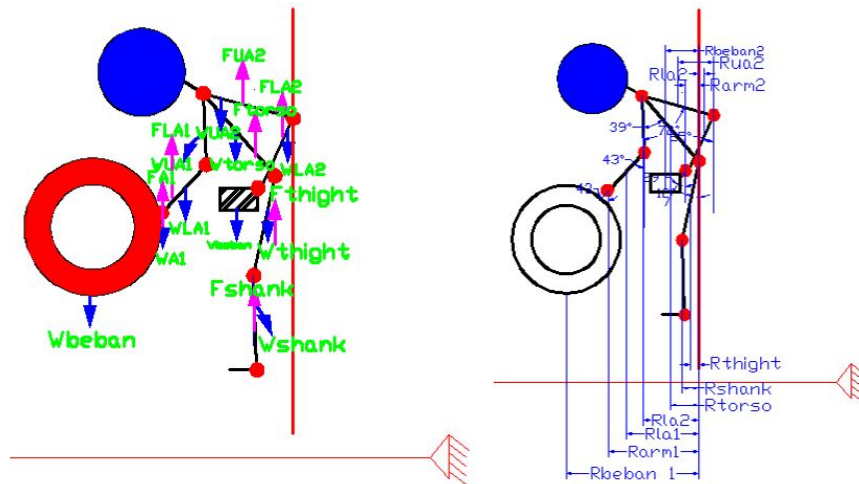
Pada tabel 4.8 terdapat sudut tiap segmen tubuh yang akan digunakan untuk menghitung gaya yang sebelumnya telah dibuat *free body diagram*.

*commit to user*



**a. Gaya pada arm 1 (right)**

Perhitungan gaya pada *arm* 1 elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.27 Free body diagram gaya pada arm 1(right)**

Pada gambar 4.27 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *arm* 1 elemen kerja 3, sebagai berikut:

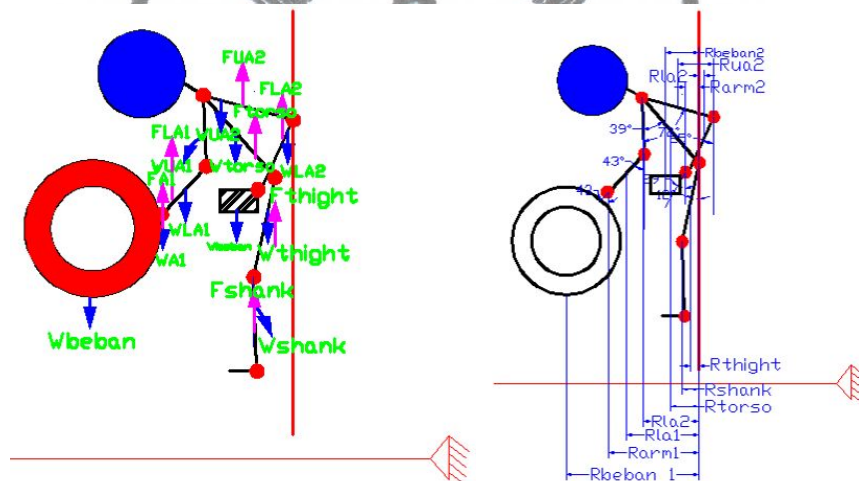
$$\begin{aligned} \sum M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times R_{La1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \\ &\quad \times R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) \\ &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\ (F_{arm1} \times R_{arm1}) &= (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) - \\ &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\ F_{arm1} &= [(F_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times R_{La1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \\ &\quad \times R_{La2}) - (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2})] / (R_{arm1}) \\ F_{arm1} &= [(11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 0^\circ + 45 \\ &\quad \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - ( \\ &\quad 11,16)(13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \\ &\quad \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2(42,68)(21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin \\
& 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \\
& \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \\
& \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (9 \sin 43^\circ + 13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) \\
F_{\text{arm1}} &= \frac{4303}{43,66} \\
&= 98,55 \text{ N}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 1 (gaya pada *arm* 1) didapatkan gaya sebesar 98,55 N.

**b. Gaya pada lower arm 1**

Perhitungan gaya pada *lower arm* 1 elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.28 Free body diagram gaya pada lower arm 1 (right)**

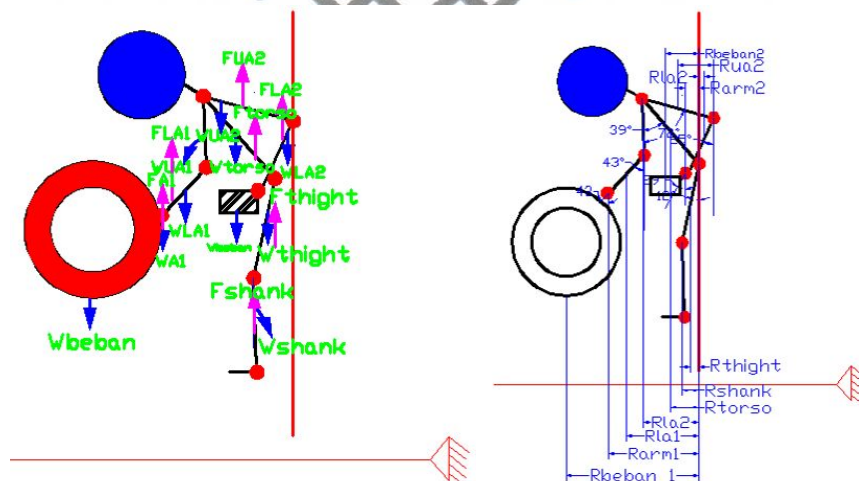
Pada gambar 4.28 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm* 1 elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{La1} \times R_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{Ua1} \times R_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times \\ &\quad R_{La2}) + (W_{ua2} \times R_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times R_s) - 2(W_T \times R_T) - \\ &\quad (W_{beban1} \times R_{beban1}) - (W_{beban2} \times R_{beban2}) \\ (F_{La1} \times R_{La1}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{Ua1} \times R_{Ua2}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times R_{La2}) - \\ &\quad (W_{ua2} \times R_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times R_s) + 2(W_T \times R_T) + (W_{beban1} \\ &\quad \times R_{beban1}) + (W_{beban2} \times R_{beban2}) \end{aligned}$$

$$F_{La1} = [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ)$$

Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm* 1) didapatkan gaya sebesar 150 N.

Perhitungan gaya pada *upper arm* 1 elemen kerja 3, sebagai berikut:



Pada gambar 4.29 menunjukkan gaya berat (W) dan gaya ke atas (F) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan

jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm* elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) \\
 &\quad - 2(W_T \times r_T) + (W_{beban\ 1} \times r_{beban1}) + (W_{beban\ 2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \\
 &\quad \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2 \\
 &\quad (W_T \times r_T) + (W_{beban\ 1} \times r_{beban1}) + (W_{beban\ 2} \times r_{beban2}) \\
 F_{Ua1} &= [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \\
 &\quad \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \\
 &\quad \times r_T) + (W_{beban\ 1} \times r_{beban1}) + (W_{beban\ 2} \times r_{beban2})] / (r_{Ua1}) \\
 F_{Ua1} &= [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (11,16) \\
 &\quad (27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin \\
 &\quad 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin \\
 &\quad 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03) \\
 &\quad (22,5 \sin 39^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) - 2(42,68) \\
 &\quad (21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + \\
 &\quad 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + \\
 &\quad 42 \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \\
 &\quad \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (12,5 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) \\
 F_{Ua1} &= \frac{2622,6}{28,31} \\
 &= 92,6\text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua1}$  (gaya pada *upper arm* 1) didapatkan gaya sebesar 92,6 N.





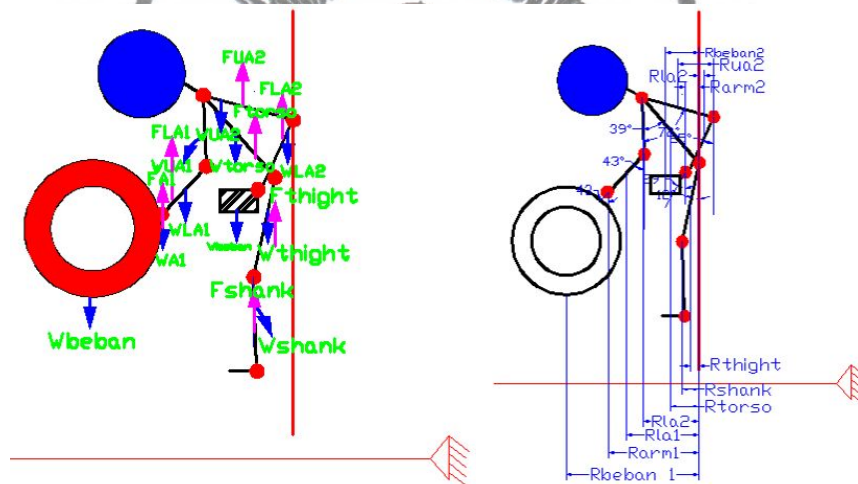
$$\begin{aligned} & 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + \\ & 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin \\ & 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ) / (9 \sin 25^\circ + 27 \sin \\ & 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Farm 2} &= \frac{3186,1}{67,3} \\ &= 47,34 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 1 (gaya pada *arm* 2) didapatkan gaya sebesar 47,34 N.

**e. Gaya pada lower arm 2**

Perhitungan gaya pada *lower arm* 2 elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.31 Free body diagram gaya pada lower arm 2 (left)**

Pada gambar 4.31 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm* 2 elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{La2} \times r_{La2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - \\ &\quad 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\ (F_{La2} \times r_{La2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \end{aligned}$$

$$F_{La2} = [(W_{arm\ 1} \times r_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (F_{arm\ 2} \times r_{arm\ 2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times r_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / (r_{La2})$$

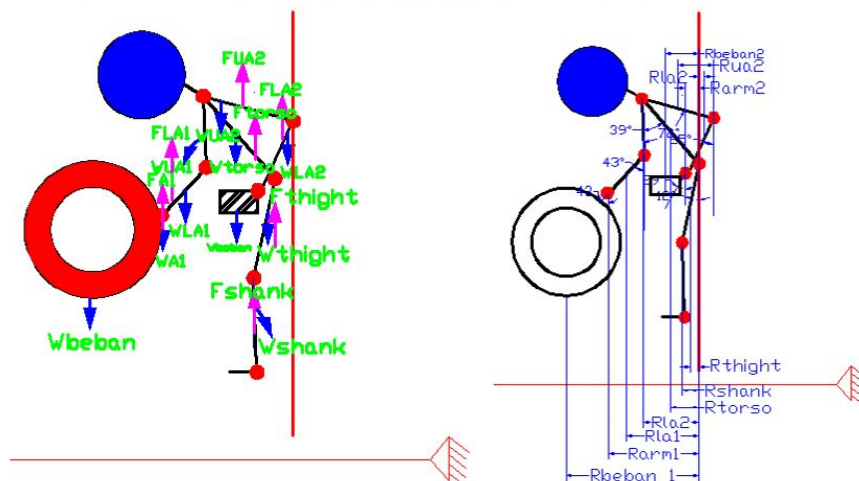
$$F_{La2} = [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ)$$

$$F_{La2} = \frac{3831,1}{57,8} = 66,2 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm 2*) didapatkan gaya sebesar 66,2 N.

#### f. Gaya pada upper arm 2

Perhitungan gaya pada *upper arm 2* elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.32 Free body diagram gaya pada upper arm 2 (left)**

Pada gambar 4.32 menunjukkan gaya berat (W) dan gaya ke atas (F) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan

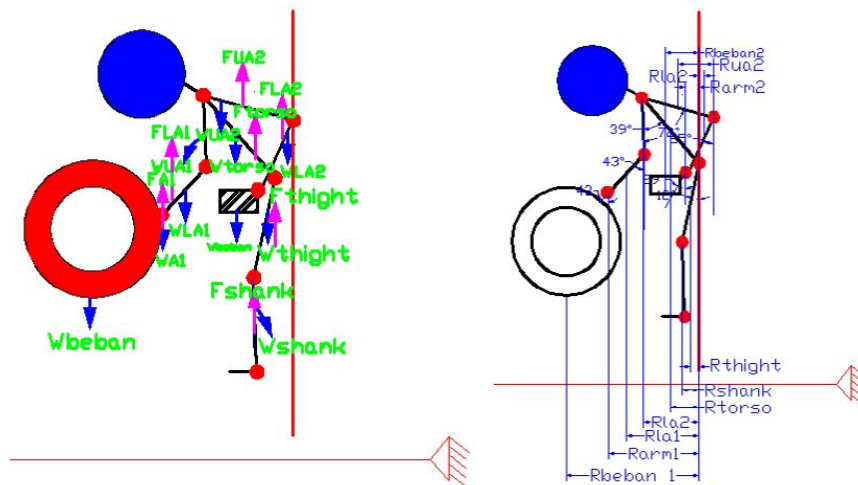
jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm* 2 elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 (W_{ua2} \times r_{ua2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 F_{ua2} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / (r_{ua2}) \\
 F_{ua2} &= [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / (12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) \\
 F_{ua2} &= \frac{3986,1}{39,73} \\
 &= 100,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua2}$  (gaya pada *upper arm* 2 elemen kerja 3) didapatkan gaya sebesar 100,3 N.

### g. Gaya pada Torso

Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.33 Free body diagram gaya pada torso**

Pada gambar 4.33 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{torso} \times r_{torso}) - (W_{arm1} \times r_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{arm2} \times r_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{torso} \times r_{torso}) &= (W_{arm1} \times r_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times r_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 F_{torso} &= [(W_{arm1} \times r_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times r_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / r_{torso} \\
 F_{torso} &= [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ +
 \end{aligned}$$

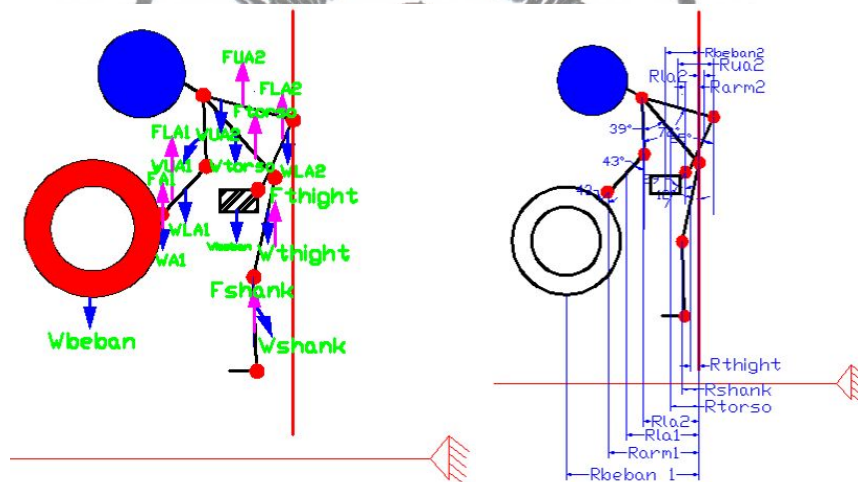
$$\frac{18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)]}{(22,5 \sin 39^\circ)}$$

$$F_{\text{torso}} = \frac{3186,1}{14,1} = 311,2 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{\text{torso}}$  (gaya pada badan elemen kerja 3) didapatkan gaya sebesar 311,2 N.

### **h. Gaya pada shank**

Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.34 Free body diagram gaya pada shank**

Pada gambar 4.34 menunjukkan gaya berat (W) dan gaya ke atas (F) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 3, sebagai berikut:

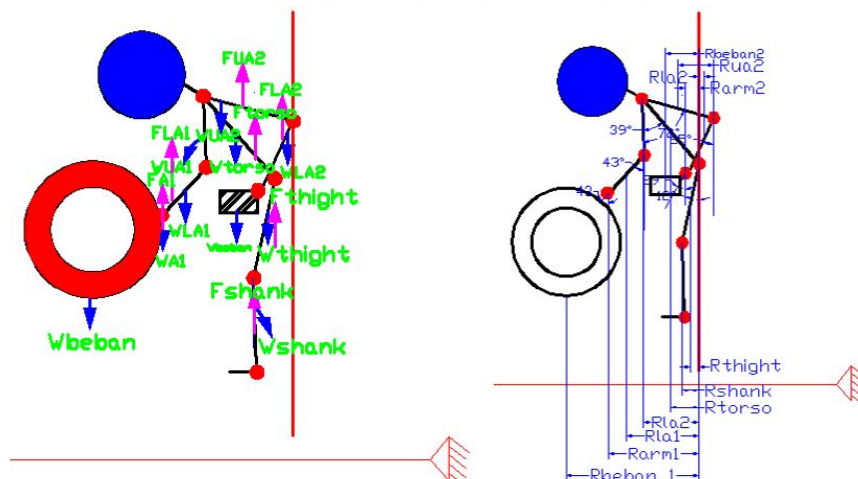
$$\begin{aligned} \Sigma \text{ M Hip} &= 0 \\ &= 2(\text{F}_s \times \text{r}_s) - (\text{Warm 1} \times \text{Rarm 1}) - (\text{W}_{\text{La1}} \times \text{r}_{\text{La1}}) - (\text{W}_{\text{Ua1}} \times \text{r}_{\text{Ua1}}) - \\ &\quad (\text{Warm 2} \times \text{Rarm 2}) + (\text{W}_{\text{La2}} \times \text{r}_{\text{La2}}) + (\text{W}_{\text{ua2}} \times \text{r}_{\text{ua2}}) - (\text{Ftorso} \times \\ &\quad \text{rtorso}) - 2(\text{W}_T \times \text{r}_T) - (\text{W}_{\text{benda1}} \times \text{r}_{\text{beban1}}) - (\text{W}_{\text{benda2}} \times \text{r}_{\text{beban2}}) \\ 2(\text{F}_s \times \text{r}_s) &= (\text{Warm 1} \times \text{Rarm 1}) + (\text{W}_{\text{La1}} \times \text{r}_{\text{La1}}) + (\text{W}_{\text{Ua1}} \times \text{r}_{\text{Ua1}}) + (\text{Warm 2} \times \\ &\quad \text{Rarm 2}) - (\text{W}_{\text{La2}} \times \text{r}_{\text{La2}}) - (\text{W}_{\text{ua2}} \times \text{r}_{\text{ua2}}) + (\text{Ftorso} \times \text{rtorso}) + 2 \\ &\quad (\text{W}_T \times \text{r}_T) + (\text{W}_{\text{beban1}} \times \text{r}_{\text{beban1}}) + (\text{W}_{\text{beban2}} \times \text{r}_{\text{beban2}}) \end{aligned}$$



$$F_s = [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 12^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / 2(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ)$$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank* elemen kerja 3) didapatkan gaya sebesar 210 N.

Perhitungan gaya pada *tight* elemen kerja 3, sebagai berikut:



**Gambar 4.35 Free body diagram gaya pada tight**

Pada gambar 4.35 menunjukkan gaya berat (W) dan gaya ke atas (F) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan

jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *tight* elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= 2(F_T \times r_T) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) \\
 &\quad - (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (F_{torso} \times r_{torso}) - 2(F_s \times r_s) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 2(F_T \times r_T) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (F_{torso} \times r_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 F_T &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (F_{torso} \times r_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / 2R_T \\
 F_T &= [(3,95)(9 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 39^\circ + 45 \sin 72^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 45 \sin 39^\circ) \\
 &\quad + (3,95)(9 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) \\
 &\quad - (19,9)(12,5 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 39^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) \\
 &\quad + (10)(20,42 + 18 \sin 43^\circ + 27 \sin 43^\circ + 25 \sin 0^\circ + 18 \sin 25^\circ + 27 \sin 25^\circ + 25 \sin 72^\circ + 45 \sin 39^\circ + 41 \sin 12^\circ + 42 \sin 12^\circ) \\
 &\quad + (3)(18 \sin 25^\circ + 13,5 \sin 25^\circ + 12,5 \sin 72^\circ + 22,5 \sin 55^\circ + 42 \sin 25^\circ + 41 \sin 25^\circ)] / 2(21 \sin 12^\circ) \\
 F_T &= \frac{2813,5}{8,73} \\
 &= 322,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_T$  (gaya pada *tight* elemen kerja 3) didapatkan gaya sebesar 322,2 N.

#### 4.2.5 Elemen Kerja 4 : Posisi Operator Menurunkan Pulley

Sudut-sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 4 ditampilkan dalam tabel 4.9.

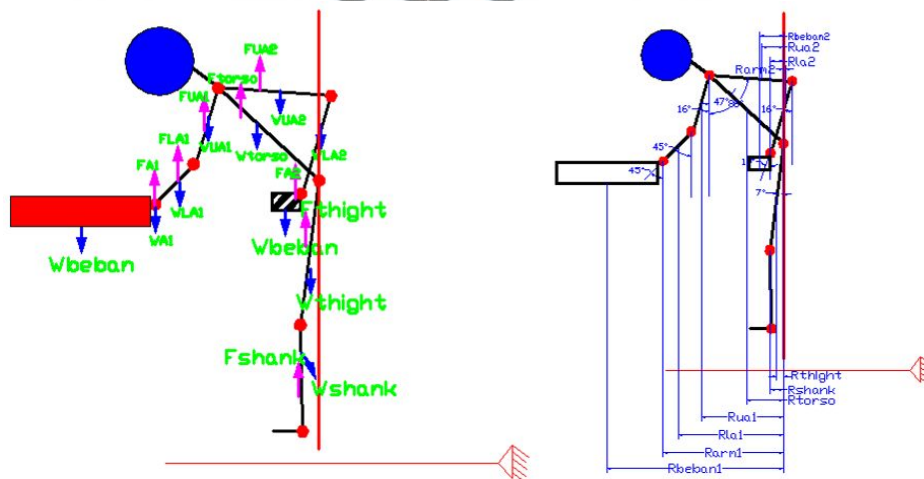
Tabel 4.9 Sudut segmen tubuh pada elemen kerja 2

Segmen tubuh	Sudut
Arm right	45°
Arm left	16°
Lower arm right	45°
Lower arm left	16°
Upper arm right	16°
Upper arm left	86°
Torso	47°
Thigh	7°
Shank	7°

Pada tabel 4.9 terdapat sudut – sudut tiap segmen tubuh yang akan digunakan untuk menghitung gaya yang sebelumnya telah dibuat *free body diagram*.

##### a. Gaya pada arm 1 (right)

Perhitungan gaya pada arm 1 elemen kerja 4, sebagai berikut:



Gambar 4.36 Free body diagram gaya pada arm 1 (right)

Pada gambar 4.36 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan

*commit to user*

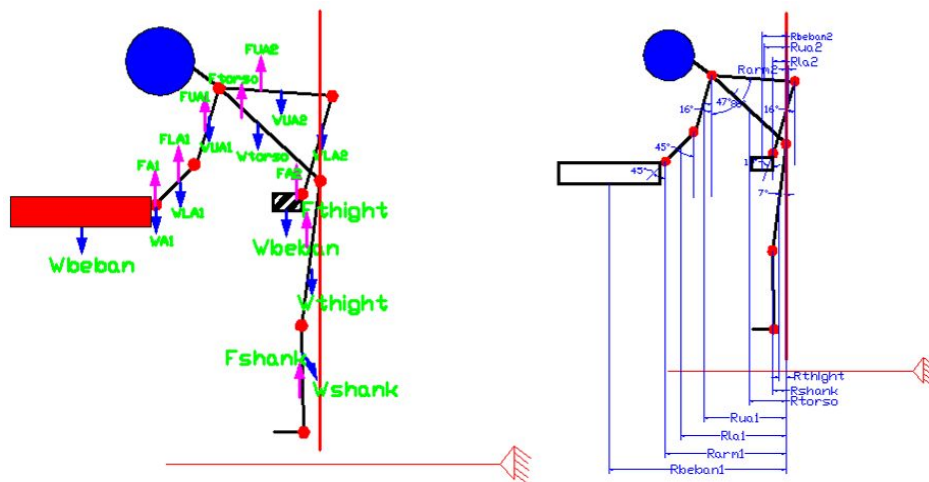
jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *arm 1* elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{arm1} \times r_{arm1}) &= (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) \\
 &\quad + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 F_{arm1} &= [(F_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / (R_{arm\ 1}) \\
 F_{arm1} &= [(11,16)(13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(13,5 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 47^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 7^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ)] / (9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) \\
 F_{arm1} &= \frac{2870,3}{65,25} \\
 &= 43,98\text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 1 (gaya pada *arm 1*) didapatkan gaya sebesar 43,98 N.

## b. Gaya pada lower arm 1

Perhitungan gaya pada *lower arm 1* elemen kerja 4, sebagai berikut:



**Gambar 4.37 Free body diagram gaya pada lower arm 1 (right)**

Pada gambar 4.37 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm 1* elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{ua1} \times r_{ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - \\
 &\quad 2(W_T \times r_T) - (W_{beb1} \times r_{beb1}) - (W_{beb2} \times r_{beb2}) \\
 (F_{La1} \times r_{La1}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{ua1} \times r_{ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{beb1} \times r_{beb1}) + (W_{beb2} \times r_{beb2}) \\
 F_{La1} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{ua1} \times r_{ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - \\
 &\quad (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beb1} \times r_{beb1}) \\
 &\quad + (W_{beb2} \times r_{beb2})] / (r_{La1}) \\
 F_{La1} &= [(3,95)(9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 16^\circ \\
 &\quad + 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(9 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 16^\circ \\
 &\quad + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 47^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 7^\circ \\
 &\quad + 42 \sin 7^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 7^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin
 \end{aligned}$$



$$45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ) / (13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ)$$

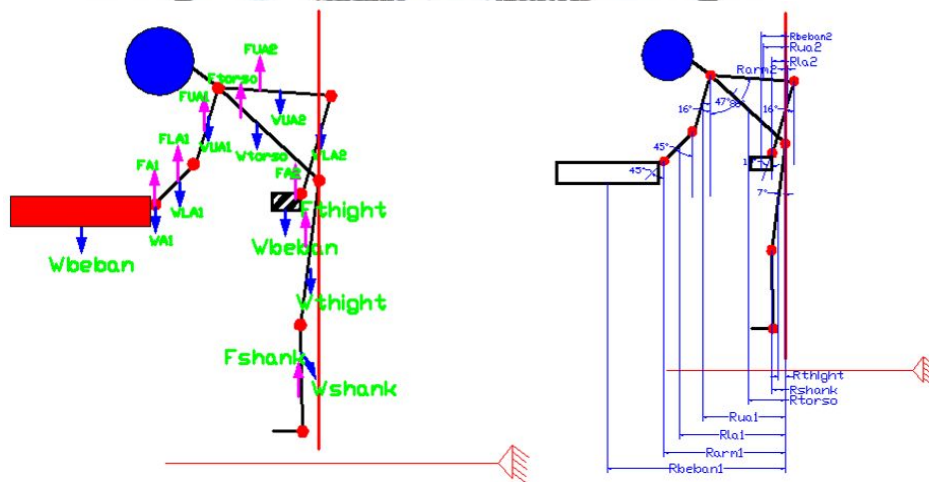
$$F_{La1} = \frac{2578}{49,3}$$

$$= 52,2 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm 1*) didapatkan gaya sebesar 52,2 N.

### c. Gaya pada upper arm 1

Perhitungan gaya pada *upper arm 1* elemen kerja 4, sebagai berikut:



Gambar 4.38 Free body diagram gaya pada upper arm 1 (right)

Pada gambar 4.38 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm* elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

$$= (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2})$$

$$(F_{Ua1} \times r_{Ua1}) = (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})$$

$$F_{Ua1} = [(W_{arm\ 1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{Ua1})$$

$$U_{a1} = (3,95)(9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(9 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 47^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 7^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ) / (12,5 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ)$$

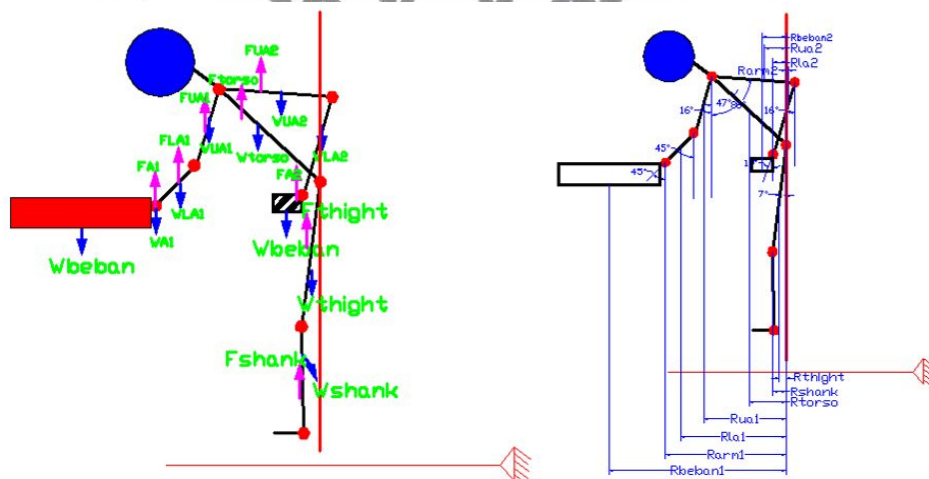
$$F_{Ua1} = \frac{2404,6}{36,3}$$

$$= 66,24 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua1}$  (gaya pada *upper arm* 1) didapatkan gaya sebesar 66,24 N.

#### d. Gaya pada arm 2 (left)

Perhitungan gaya pada *arm* 2 elemen kerja 4, sebagai berikut:



**Gambar 4.39 Free body diagram gaya pada upper arm 2 (left)**

Pada gambar 4.39 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan

*commit to user*

jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *arm* elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

$$= (F_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2})$$

$$(F_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) = (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})$$

$$F_{arm\ 2} = [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / (R_{arm\ 2})$$

$$F_{arm\ 2} = [(3,95)(9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 47^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 7^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ) / (9 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ)$$

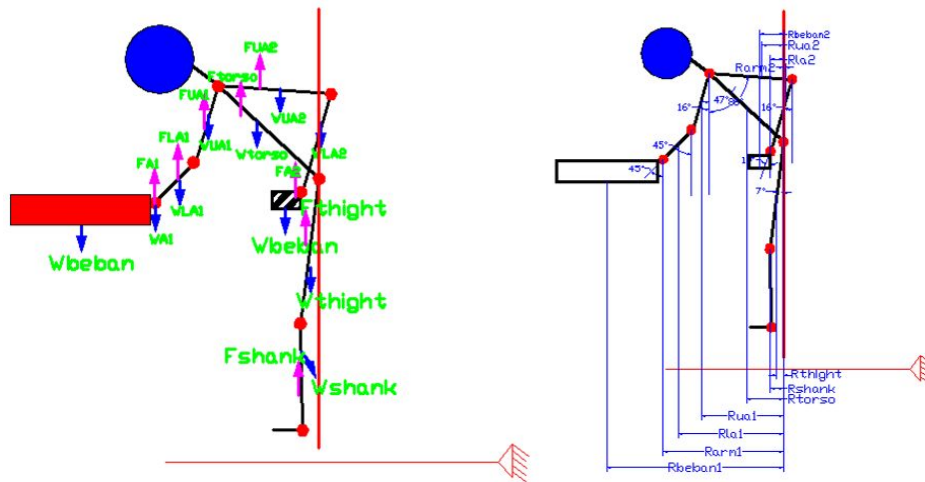
$$F_{arm\ 2} = \frac{2855,4}{67,7}$$

$$= 42,1\text{ N}$$

Hasil perhitungan Farm 2 (gaya pada *arm* 2) didapatkan gaya sebesar 42,1 N.

### e. Gaya pada lower arm 2

Perhitungan gaya pada *lower arm 2* elemen kerja 4, sebagai berikut:



**Gambar 4.40 Free body diagram gaya pada lower arm 2 (left)**

Pada gambar 4.40 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *lower arm 2* elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{La2} \times r_{La2}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - \\
 &\quad (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) \\
 &\quad - 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{La2} \times r_{La2}) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 F_{La2} &= [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / (r_{La2}) \\
 F_{La2} &= [(3,95)(9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 45^\circ \\
 &\quad + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(13,5 \sin 16^\circ \\
 &\quad + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) \\
 &\quad + (55,03 \times 22,5 \sin 47^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 7^\circ) \\
 &\quad + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25
 \end{aligned}$$

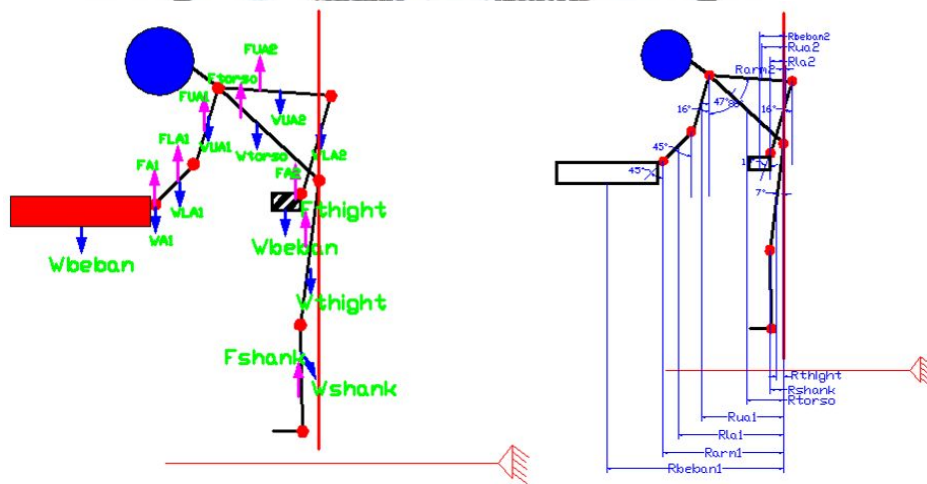
$$\frac{\sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ)}{(13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ)}$$

$$\begin{aligned} F_{La2} &= \frac{3815,1}{61,57} \\ &= 61,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{Lal}$  (gaya pada *lower arm* 2) didapatkan gaya sebesar 61,9 N.

**f. Gaya pada upper arm 2**

Perhitungan gaya pada *upper arm* 2 elemen kerja 4, sebagai berikut:



**Gambar 4.41 Free body diagram gaya pada upper arm 2 (left)**

Pada gambar 4.41 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *upper arm* 2 elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) \\ &\quad - (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \\ &\quad \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{beban1} \times r_{beban1}) - (W_{beban2} \times r_{beban2}) \end{aligned}$$



$$(W_{ua2} \times r_{ua2}) = (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times r_s) + 2 (W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})$$

$$W_{ua2} = [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times r_s) + 2 (W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / (r_{ua2})$$

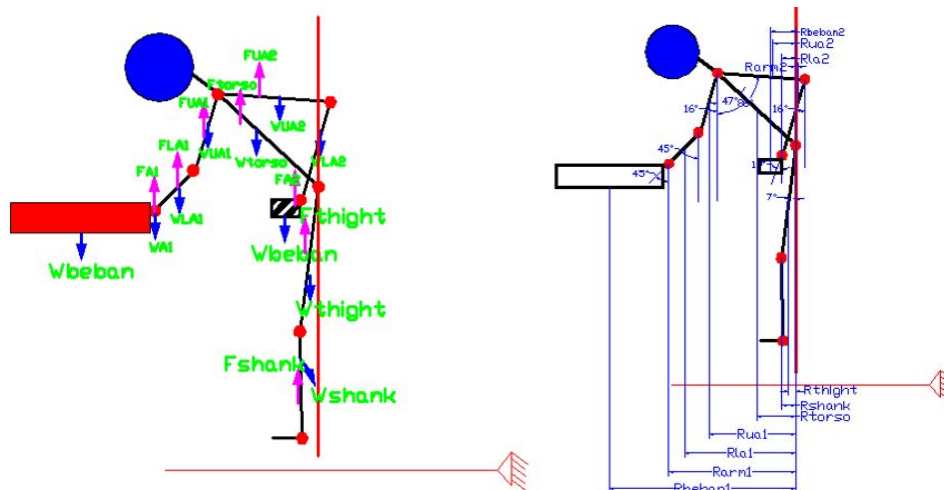
$$W_{ua2} = [(3,95)(9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(9 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ)] / (12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ)$$

$$W_{ua2} = \frac{4031}{45,3} = 88,98 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua2}$  (gaya pada *upper arm* 2 elemen kerja 4) didapatkan gaya sebesar 89,8 N.

### g. Gaya pada Torso

Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 4, sebagai berikut:



Gambar 4.42 Free body diagram gaya pada torso

Pada gambar 4.42 menunjukkan gaya berat (W) dan gaya ke atas (F) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{torso} \times r_{torso}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - 2 \\
 &\quad (W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{torso} \times r_{torso}) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + \\
 &\quad (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + 2(W_s \times r_s) \\
 &\quad + 2(W_T \times r_T) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
 F_{torso} &= [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \\
 &\quad \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / r_{torso} \\
 F_{torso} &= [(3,95)(9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (11,16) \\
 &\quad (13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 16^\circ + \\
 &\quad 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(13,5 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \\
 &\quad \sin 47^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - \\
 &\quad (19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin \\
 &\quad 7^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 7^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin \\
 &\quad 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin \\
 &\quad 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \\
 &\quad \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ)] / (L_{bdn} \sin 47^\circ) \\
 F_{torso} &= \frac{9179,1}{32,9} \\
 &= 279\text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_b$  (gaya pada badan elemen kerja 4) didapatkan gaya sebesar 279 N.



$$F_s = \frac{(19,9)(12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 47^\circ) + (42,68)(21 \sin 7^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ)}{2(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ)}$$

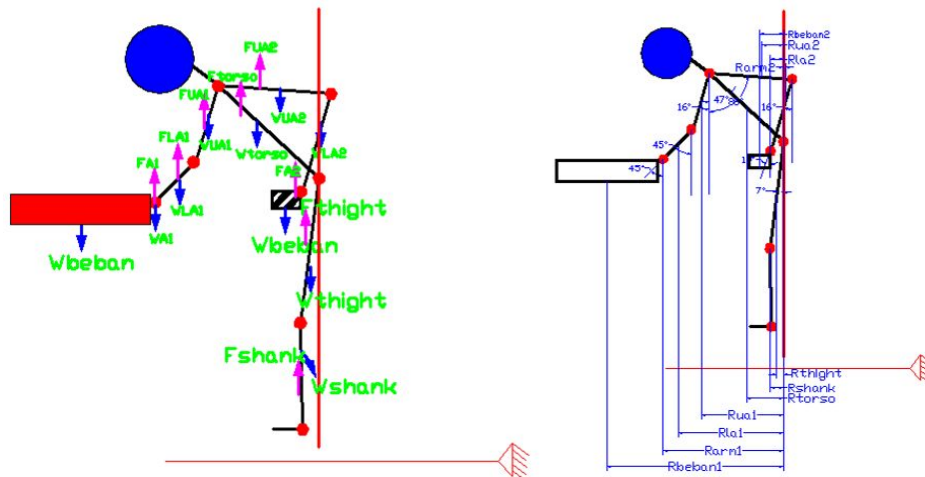
$$= \frac{2848,4}{15,23}$$

$$= 187,0 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank* elemen kerja 4) didapatkan gaya sebesar 187 N.

***i. Gaya pada tight***

Perhitungan gaya pada *tight* elemen kerja 4, sebagai berikut:



**Gambar 4.44 Free body diagram gaya pada thigh**

Pada gambar 4.44 menunjukkan gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F$ ) yang terjadi di tiap segmen tubuh. Kemudian terlihat juga sudut yang terbentuk dan jarak di tiap segmen tubuh terhadap titik pusat (*hip*). Perhitungan gaya pada *tight* elemen kerja 4, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M Hip &= 0 \\ &= 2 (F_T \times r_T) - (W_{arm1} \times r_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{ua1} \times r_{ua1}) \\ &\quad - (W_{arm2} \times r_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (F_{torso} \\ &\quad \times r_{torso}) - 2 (F_s \times r_s) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2 (F_T \times r_T) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \\
&\quad \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (F_{torso} \times r_{torso}) + 2 \\
&\quad (W_s \times r_s) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2}) \\
F_T &= [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \\
&\quad \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (F_{torso} \times r_{torso}) + 2 \\
&\quad (W_s \times r_s) + (W_{beban1} \times r_{beban1}) + (W_{beban2} \times r_{beban2})] / 2R_T \\
F_T &= [(3,95) (9 \sin 45^\circ + 27 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (11,16) \\
&\quad (13,5 \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (19,9) (12,5 \sin 16^\circ + \\
&\quad 45 \sin 47^\circ) + (3,95)(13,5 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \\
&\quad \sin 47^\circ) - (11,16) (13,5 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) - \\
&\quad (19,9) (12,5 \sin 86^\circ + 45 \sin 47^\circ) + (55,03 \times 22,5 \sin 47^\circ) + 2 ( \\
&\quad 18,36)(20,5 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (10) (20,42 + 18 \sin 45^\circ + 27 \\
&\quad \sin 45^\circ + 25 \sin 16^\circ + 18 \sin 16^\circ + 27 \sin 16^\circ + 25 \sin 86^\circ + 45 \\
&\quad \sin 47^\circ + 41 \sin 7^\circ + 42 \sin 7^\circ) + (3)(18 \sin 16^\circ + 13,5 \sin 16^\circ + \\
&\quad 12,5 \sin 16^\circ + 22,5 \sin 47^\circ + 42 \sin 7^\circ + 41 \sin 7^\circ)] / 2 (21 \sin \\
&\quad 7^\circ) \\
F_T &= \frac{2909,6}{5,1} \\
&= 570 \text{ N}
\end{aligned}$$

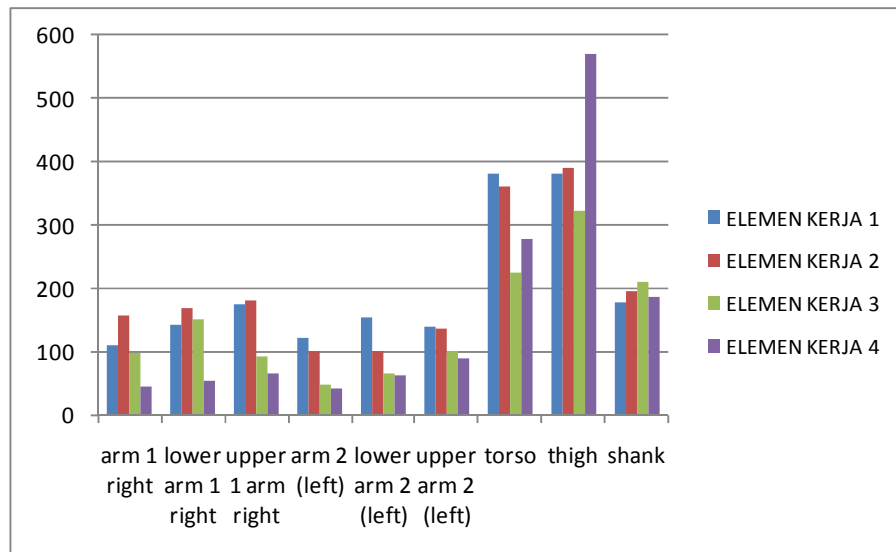
Hasil perhitungan  $F_T$  (gaya pada *tight* elemen kerja 4) didapatkan gaya sebesar 570 N. Hasil perhitungan keseluruhan gaya yang terjadi tiap elemen kerja ditampilkan dalam tabel 4.7 berikut ini.

**Tabel 4.10 Tabel Rekapitulasi Perhitungan Gaya**

SEGMENT TUBUH	ELEMEN KERJA 1	ELEMEN KERJA 2	ELEMEN KERJA 3	ELEMEN KERJA 4
<i>arm 1 right</i>	108	156.7	98.55	43.98
<i>lower arm 1 right</i>	142	168.6	150	52.2
<i>upper 1 arm right</i>	174.3	180.7	92.6	66.24
<i>arm 2 (left)</i>	121	101.1	47.34	42.1
<i>lower arm 2 (left)</i>	154.3	100.3	66.2	61.9
<i>upper arm 2 (left)</i>	137.9	134.9	100.3	88.98
<i>torso</i>	381	360.3	225.9	279
<i>thigh</i>	380	389.1	322.2	570
<i>shank</i>	178.2	196.5	210	187

Untuk memudahkan membaca gaya yang terjadi pada tiap elemen kerja disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.45 di bawah ini.





**Gambar 4.45 Grafik perhitungan gaya tiap segmen tubuh**

Pada grafik 4.45 diatas terlihat gaya yang terjadi pada aktivitas elemen kerja 1 terdapat pada segmen badan, sedangkan pada elemen kerja 2, elemen kerja 3, dan elemen kerja 4 gaya yang terjadi paling besar terdapat pada *thigh* (paha). Secara keseluruhan gaya yang terjadi di segmen *thigh* sangat besar, terutama pada elemen kerja 4 yang memiliki gaya paling besar diantara segmen yang lain.

### 4.3 PERANCANGAN ALAT BANTU

Pada tahap ini dilakukan perancangan suatu alat bantu meja yang memudahkan operator untuk melakukan proses menggerinda, dimana setelah melakukan perhitungan biomekanika dan perhitungan gaya tiap segmen pekerja. Alat ini berfungsi untuk mengerangi gaya yang terjadi pada tiap segmen tubuh operator terutama pada bagian torso (punggung), thigh (paha atas), dan shank (betis).

#### 4.3.1 Identifikasi keluhan dan kebutuhan perancangan

Identifikasi dilakukan dengan metode wawancara dan perhitungan segmen tubuh berdasarkan biomekanik. Wawancara dilakukan untuk mendapatkan informasi secara langsung dari operator yang ada di PT Bonjor Jaya Ceper, Klaten mengenai kesulitan atau keluhan yang dialami operator pada proses penghalusan benda kerja *pulley*. Dari hasil wawancara dengan operator di PT Bonjor Jaya Ceper, Klaten telah ditunjukkan pada tabel 4.2 diatas tentang keluhan di tiap

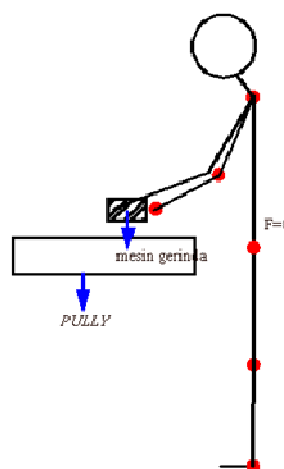
segmen yang dialami operator. Dari hasil perhitungan pada tabel 4.8 dapat diketahui bahwa gaya yang paling besar terdapat pada segmen *torso* (punggung), *thigh* (paha) dan *shank* (betis). Hal ini disebabkan karena posisi operator yang membungkuk pada saat melakukan aktivitas penghalusan. Maka diperlukan suatu desain alat bantu yang bertujuan mengurangi gaya di tiap segmen tubuh operator terutama pada segmen *torso* (punggung), *thigh* (paha) dan *shank* (betis).

Adapun Langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan ini:

### 1. Kebutuhan (*needs*)

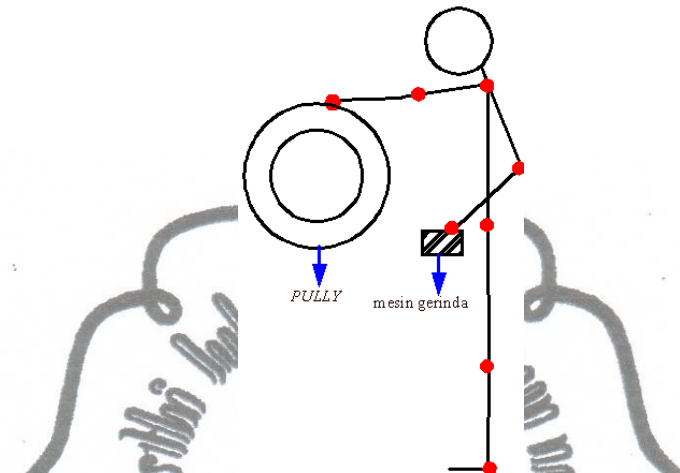
Pada meja dudukan benda kerja *pulley* yang sudah ada membutuhkan beberapa aktivitas yang berpeluang menimbulkan rasa nyeri pada tubuh operator. Berdasarkan metode Lokal Referensy sistem setiap aktivitas tersebut memiliki level resiko pada setiap segmen tubuh yang perlu dilakukan perbaikan pada aktivitas penghalusan. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dibutuhkan adanya alat bantu meja dudukan benda kerja *pulley* yang menggunakan kajian biomekanik sehingga dapat mengurangi beban kerja yang dialami oleh operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan tanpa mengesampingkan produktivitas kerja.

Perancangan berupa desain meja yang dapat disesuaikan (naik-turun) sesuai dengan tinggi operator. Sehingga posisi operator tegak lurus terhadap bidang datar. Hal ini bertujuan untuk mengurangi gaya yang ada di punggung, paha, dan betis. Posisi postur operator dapat digambarkan pada gambar 4.46 di bawah ini.



**Gambar 4.46 Stik diagram posisi operator menggerinda**

Posisi operator pada saat membalikkan *pulley* tetap sama pada posisi operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan, sehingga gaya pada punggung, paha, dan betis tetap stabil. Posisi operator ini dapat digambarkan pada gambar 4.47.



**Gambar 4.47 Stik diagram posisi operator membalikkan pulley**

Keperluan operator terhadap meja dudukan benda kerja *pulley* yang baru ditampilkan pada pendataan tingkat keluhan operator penuangan logam cair pada tabel 4.11.

**Tabel 4.11 Harapan Operator Pada Stasiun Kerja Penghalusan**

NO	HARAPAN OPERATOR
1	Saya ingin alat bantu untuk mengurangi rasa nyeri pada badan karena membungkuk
2	saya ingin alat bantu meja yang mengurangi gerakan repetitive pada saat melakukan aktivitas penghalusan
3	Saya ingin alat bantu meja yang dapat digunakan secara aman dan nyaman dan dapat disesuaikan dengan ketinggian pekerja sehingga posisi pekerja tidak membungkuk
4	Saya ingin alat bantu meja yang dapat mempermudah operator untuk melakukan aktivitas penghalusan

*commit to user*

Tabel 4.11 menjelaskan tentang keluhan-keluhan yang terjadi pada operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan. Berdasarkan tabel 4.11 maka didesain meja yang berfungsi untuk memudahkan operator untuk melakukan aktivitas penghalusan, sehingga operator bisa dengan aman dan nyaman dalam melakukan aktivitas penghalusan dan mengurangi keluhan *musculoskeletal*.

## 2. Gagasan (*idea*)

Berdasarkan harapan yang ditampilkan pada tabel 4.11, dikembangkan sejumlah ide maupun alternatif pemecahan masalah pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12 Desain Alat Berdasar Keluhan Dan Harapan Operator**

NO	KELUHAN	HARAPAN OPERATOR	KEBUTUHAN	DESAIN ALAT
1	Rasa nyeri, capek yang terjadi pada <i>Hand</i> (tangan), <i>Lower arm</i> , <i>Upper arm</i> , <i>Torso</i> (punggung), <i>Thigh</i> (paha), dan <i>Shank</i> (betis)	Saya ingin alat bantu untuk mengurangi rasa nyeri pada badan karena membungkuk	Alat bantu meja dudukan <i>pully</i> yang dapat mengurangi gaya di tiap segmen tubuh terutama pada bagian <i>Torso</i> (punggung), <i>Thigh</i> (paha), dan <i>Shank</i> (betis) pada saat melakukan aktivitas penghalusan	desain berupa meja yang mempunyai pencekam untuk memudahkan operator dalam melakukan aktivitas penghalusan
2		saya ingin alat bantu meja yang mengurangi gerakan repetitive pada saat melakukan aktivitas		
3		Saya ingin alat bantu meja yang dapat digunakan secara aman dan nyaman dan dapat disesuaikan dengan		Desain berupa meja yg adjustable atau dapat diatur ketinggian menyesuaikan tingi operator dengan menggunakan percentil tinggi siku berdiri ke 5 dan ke 95
4		Saya ingin alat bantu meja yang dapat mempermudah operator untuk melakukan aktivitas penghalusan		

Ide maupun alternatif-alternatif yang dikembangkan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dan mewakili konsep mekanisme perancangan alat bantu dudukan benda kerja *pulley* yang baru. Berikut pembangkitan ide - ide dalam perancangan meja dudukan benda kerja *pulley* :

- Rancangan alat bantu dudukan benda kerja *pulley* dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian atas meja merupakan tempat meletakkan *pulley* dan bagian pengangkat yang dapat menaikkan dan menurunkan meja sesuai dengan tinggi operator yang akan ditampilkan pada gambar 4.48.



**Gambar 4.48 Meja Dudukan Benda Kerja *Pulley***

- b. Berdasarkan mekanisme kerja alat bantu dudukan benda kerja *pulley*, beberapa aktivitas penghalusan mulai dari awal adjustment hingga pada saat menggerinda. Dimana aktivitas penghalusan dilakukan secara berulang-ulang secara manual hingga semua bagian sisi *pulley* rata. Usulan untuk perancangan ini dilakukan dengan membuat sebuah alat bantu berupa meja dudukan *pulley* untuk kenyamanan dan keamanan operator.
- c. Kontruksi meja bagian atas dilengkapi dengan pencekam agar pada saat melakukan aktivitas penghalusan tangan operator tidak mengeluarkan gaya berlebih sehingga pada saat proses penghalusan gaya yang ditimbulkan pada *hand, lower arm*, dan *upper arm* kecil.
- d. Pada tengah meja terdapat dua buah pengangkat yang bersilangan yang dikendalikan oleh sebuah dongkrak di bagian dasar meja. Konstruksi ini bertujuan sebagai sandaran meja pada saat dinaikkan dan diturunkan yang bersifat *adjustable*. Operator dapat menyesuaikan tingginya pada saat melakukan aktivitas penghalusan, sehingga operator dapat nyaman dan aman dalam melakukan aktivitas penghalusan dan gaya yang ditimbulkan pada punggung, paha, dan betis dapat stabil.

#### 4.3.2 Perancangan Alat Bantu Berdasarkan Data Anthropometri

Perancangan alat bantu meja secara langsung akan memperbaiki posisi postur kerja operator yang menggunakan alat bantu meja tersebut. Perancangan meja didasarkan atas data antropometri. Menurut Wignjosoebroto S (1995), sesuai



dengan persamaan pada tabel 2.1, perancangan meja ini dilakukan dengan menghitung tinggi siku berdiri dengan persentil 5, dan percentile 95 yang didapat dari rata-rata lima operator sebagai berikut:

$$P_5 = \bar{x} - 1.645\sigma_x$$

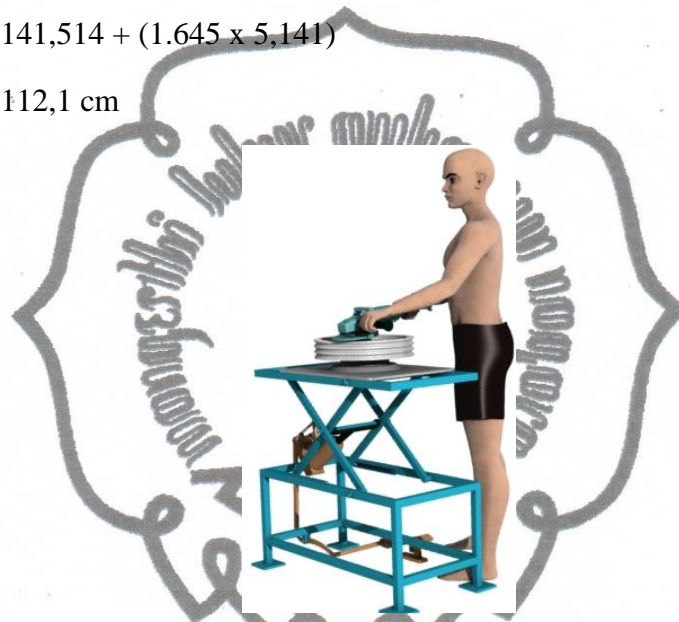
$$P_5 = 102,38 - (1.645 \times 5,9)$$

$$P_5 = 92,7 \text{ cm}$$

$$P_{95} = \bar{x} + 1.645\sigma_x$$

$$P_{95} = 141,514 + (1.645 \times 5,141)$$

$$P_{95} = 112,1 \text{ cm}$$

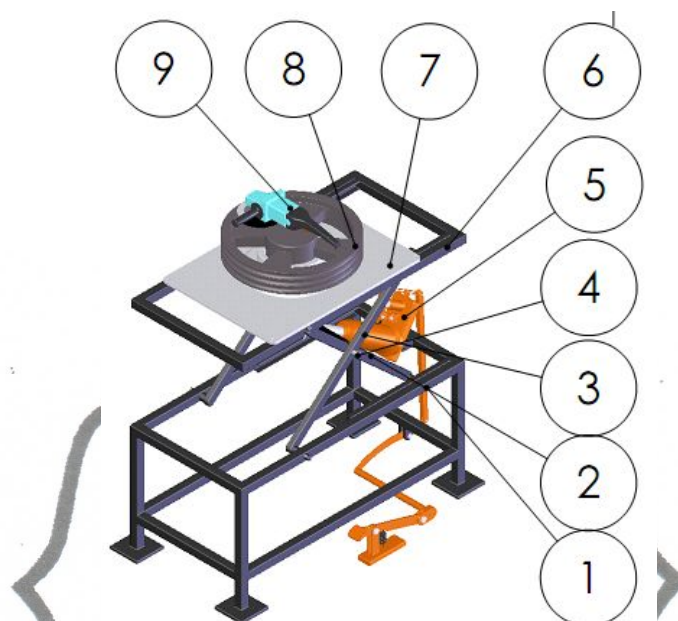


**Gambar 4.49 Dimensi antropometri operator**

Tinggi meja menggunakan percentile ke 95 dengan tujuan bahwa operator dengan tinggi badan paling tinggi dapat dengan nyaman melakukan aktivitas menggerinda dan dengan percentile ke 5 operator dengan postur tubuh pendek bisa menyesuaikan tinggi meja dengan ketinggian minimum, sehingga operator bisa tetap nyaman dalam melakukan aktivitas menggerinda.

### 4.3.2 Perancangan Meja

Hasil perhitungan persentil digunakan untuk merancang desain meja gerinda yang ditunjukkan pada gambar 4.50



**Gambar 4.50 Desain Meja Gerinda**

Dari gambar 4.50 dapat dijelaskan bagian-bagian dari desain meja gerinda yang disajikan pada tabel 4-13 di bawah ini.

**Tabel 4.13 Tabel komponen penyusun meja gerinda**

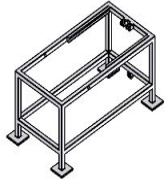



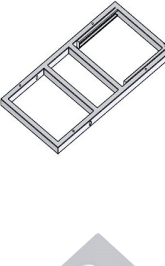
NO	NAMA	JUMLAH
1	Rangka meja bawah	1
2	Pengangkat 1	2
3	Pengangkat 2	2
4	Poros	1
5	Dongkrak	1
6	Rangka meja atas	1
7	Pencekam	1
8	Pully	1
9	Mesin gerinda	1

Tabel 4.13 menunjukkan nama-nama komponen penyusun pada desain meja gerinda dan jumlah komponen ada.

### ➤ Komponen Penyusun Meja Gerinda

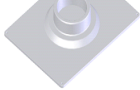

Meja gerinda tersusun dari komponen rangka meja bagian bawah, pengangkat 1, pengangkat 2, poros, dan dongkrak.

**Tabel 4.14 Tabel komponen penyusun meja gerinda**

KOMPONEN	NAMA KOMPONEN	FUNGSI KOMPONEN	No	
	RANGKA MEJA BAGIAN BAWAH	Komponen ini berfungsi sebagai rangka dan untuk menopang beban. Ukurannya disesuaikan dengan rangka meja bagian atas.	1	Nyeri p Pergela Lower Punggga Shank
			2	
			3	
			4	
	PENGANGKAT 1	komponen ini berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan meja sesuai batas yang telah ditentukan		
	PENGANGKAT 2	komponen ini memiliki fungsi sama dengan pengangkat 1 yaitu menurunkan dan menaikkan meja, tetapi posisinya menyilang dengan pengangkat pertama.		
	POROS	Poros berfungsi untuk menopang pengangkat agar pengangkat kuat dalam menaikkan serta menurunkan meja dan beban yang berada di atasnya		
	DONGKRAK	Dongkrak berfungsi sebagai sumber kekuatan pengangkat untuk menaikkan dan menurunkan meja		

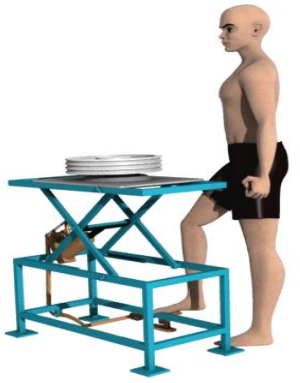


*commit to user*

**Tabel 4.14 Tabel komponen penyusun meja gerinda (lanjutan)**

	RANGKA MEJA BAGIAN ATAS	Komponen ini berfungsi sebagai tempat dudukan meja yang menyesuaikan dengan ukuran pencekam
	PENCEKAM	Komponen ini berfungsi untuk mencekam benda kerja <i>pully</i> , ukuran menyesuaikan dengan diameter <i>pully</i> .

#### 4.3.3 Permodelan Posisi Postur Kerja Operator

Setelah perancangan meja selesai dibuat, maka dapat disimulasikan posisi operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan seperti pada gambar 4.51.

Elemen Kerja 1 (adjustment)	Elemen Kerja 2	Elemen Kerja 3
		
posisi operator pada saat menaikkan meja	posisi operator pada saat menghaluskan	posisi operator membalikkan benda kerja <i>pully</i> dengan posisi <i>pully</i> vertikal

**Gambar 4.51 Aktivitas kerja penghalusan setelah perbaikan**

Perbaikan fasilitas meja berupa pencekam tinggi meja yang bisa diatur ketinggiannya, landasan meja yang kuat, dan dongkrak manual untuk menaikkan dan menurunkan meja. Semula operator harus banyak membungkuk ketika menggerinda, dan membalikkan *pulley*, sedangkan setelah perbaikan fasilitas pada

meja bor, posisi tubuh operator tetap tegak sehingga resiko terjadinya keluhan *musculoskeletal* pada operator dapat diminimalisir.

#### 4.3.4 Menentukan Gaya Setelah Perbaikan

Uraian gaya pada setiap phase kerja yang menyebabkan keluhan setelah dilakukan perbaikan fasilitas kerja, yaitu:

##### 1. Posisi Operator Menaikkan dan Menurunkan meja Elemen kerja 1

Sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 1 ditampilkan dalam tabel 4.15.

Tabel 4.15 Sudut segmen tubuh pada elemen kerja 1

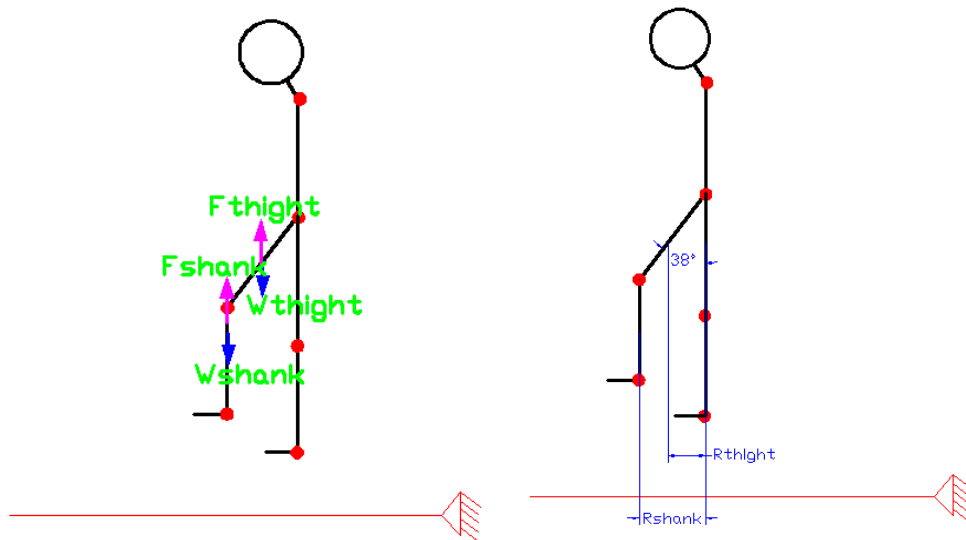
Segmen tubuh	sudut terbentuk
<i>Arm right</i>	0°
<i>Arm left</i>	0°
<i>Lower arm right</i>	0°
<i>Lower arm left</i>	0°
<i>Upper arm right</i>	0°
<i>Upper arm left</i>	0°
<i>Torso</i>	0°
<i>Thigh (kanan)</i>	38°
<i>Shank (kanan)</i>	38°

Pada elemen kerja ini segmen yang memiliki sudut dan jarak hanya pada *shank* (kanan) dan *thigh* (kanan), jadi perhitungan gaya hanya pada segmen tersebut.

##### a. Gaya pada Shank (kanan)

Komponen penyusun gaya tiap segmen *shank* pada elemen kerja adjusment dipaparkan sebagai berikut,





**Gambar 4.52 Free body diagram gaya pada shank**

Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja adjusment, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_s \times r_s) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - \\
 &\quad (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (F_{torso} \times r_{torso}) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_s \times r_s) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + \\
 &\quad (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (F_{torso} \times r_{torso}) + \\
 &\quad (W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})
 \end{aligned}$$

$$F_s = (W_T \times r_T) / R_s$$

$$F_s = (42,68)(21 \sin 38^\circ) / (20,5 \sin 38^\circ + 42 \sin 38^\circ)$$

$$F_s = \frac{551,8}{38,4}$$

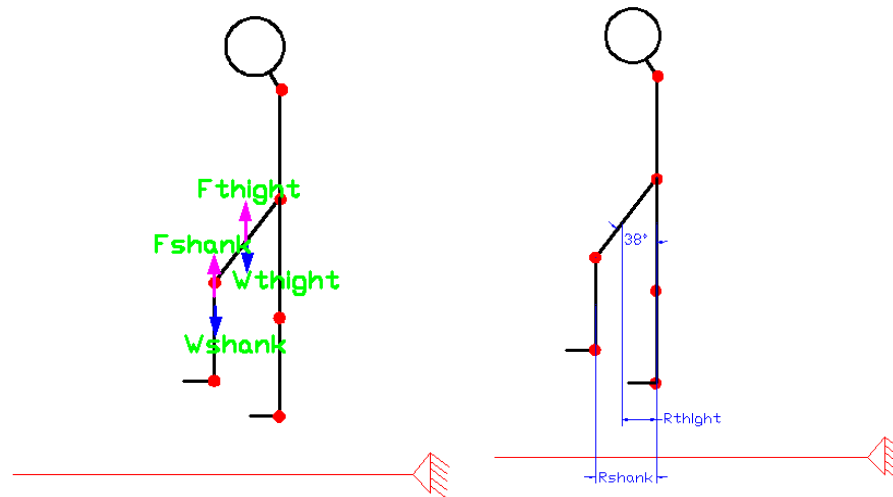
$$= 14,3 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank*) didapatkan gaya sebesar 14,3 N.

#### **b. Gaya pada Thight (kanan)**

Komponen penyusun gaya tiap segmen *thight* pada elemen kerja adjusment dipaparkan sebagai berikut,

*commit to user*



**Gambar 4.53 Free body diagram gaya pada thigh**

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_s \times r_s) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - \\
 &\quad (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (F_{torso} \times r_{torso}) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_t \times r_t) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + \\
 &\quad (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (F_{torso} \times r_{torso}) + \\
 &\quad (W_s \times r_s) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 F_T &= (W_T \times r_T) / 2R_s \\
 F_T &= (18,36) (20,5 \sin 38^\circ + 42 \sin 38^\circ) / (20,5 \sin 38^\circ) \\
 F_T &= \frac{706,47}{12,62} \\
 &= 55,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank*) didapatkan gaya sebesar 55,9 N.

## 2. Posisi Operator Menggerinda (elemen kerja perbaikan 2)

Sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 2 ditampilkan dalam tabel 4.16

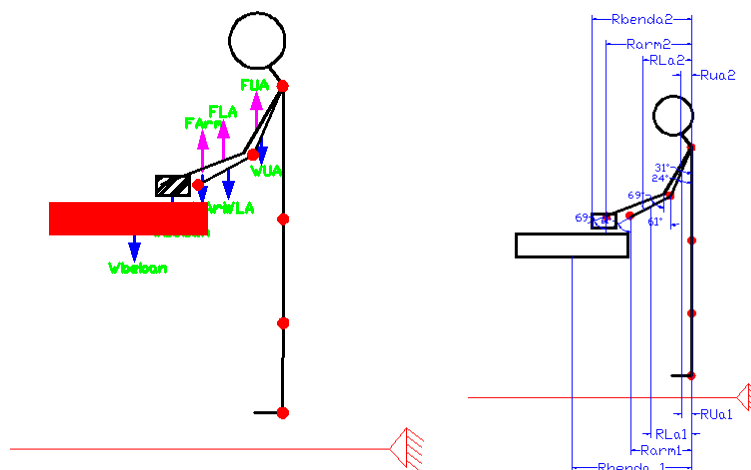
**Tabel 4.16 Sudut segmen tubuh elemen kerja 2**

Segmen tubuh	sudut terbentuk
<i>Arm right</i>	61°
<i>Arm left</i>	69°
<i>Lower arm right</i>	61°
<i>Lower arm left</i>	69°
<i>Upper arm right</i>	24°
<i>Upper arm left</i>	31°
<i>Torso</i>	0°
<i>Thigh</i>	0°
<i>Shank</i>	0°

Pada tabel 4.16 terdapat sudut tiap segmen tubuh yang digunakan untuk menghitung gaya sesuai *free body diagram*.

### a. Gaya pada arm 1 (kanan)

Komponen penyusun gaya tiap segmen pada *arm 1* pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.54 Free body diagram gaya pada arm 1 (kanan)**

*commit to user*

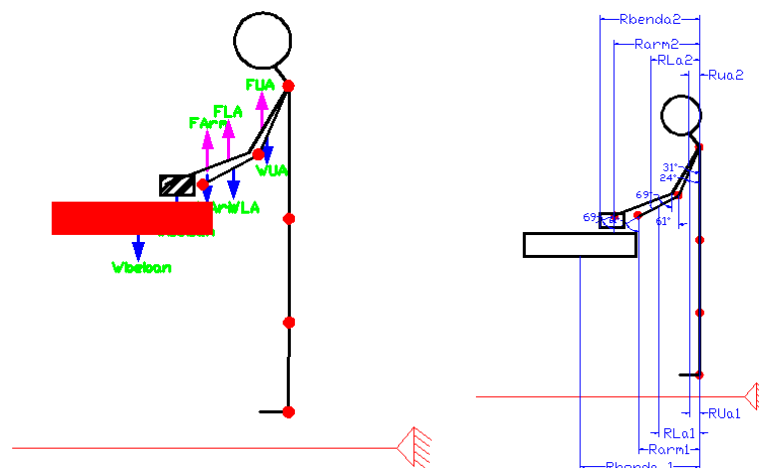
Perhitungan gaya pada arm 1 (kanan) elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (\text{Farm 1} \times R_{arm 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{arm 2} \times R_{arm 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2 \\
 &\quad (W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (\text{Farm 1} \times R_{arm 1}) &= (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm 2} \times R_{arm 2}) + \\
 &\quad (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 ( \\
 &\quad W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 \text{Farm 1} &= [(W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm 2} \times R_{arm 2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) \\
 &\quad + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + \\
 &\quad (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (R_{arm 1}) \\
 \text{Farm 1} &= [(11,16) (13,5 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90) (12,5 \sin 25^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95) (9 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16) (13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90) (12,5 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03) (22,5 \sin 0^\circ) + 2 (18,36) (20,5 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + 2(42,68) (21 \sin 0^\circ) + (10) (20,42 + 18 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + (3)(18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ)] / (9 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 \text{Farm 1} &= \frac{2738,1}{41,6} \\
 &= 65,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 1 (gaya pada *arm* kanan) didapatkan gaya sebesar 65,8 N.

#### b. Gaya pada lower arm 1

Komponen penyusun gaya tiap segmen *lower arm* 1 pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.55 Free body diagram gaya pada lower arm 1( kanan)**

Perhitungan gaya pada *lower arm* 1 (kanan) elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

$$= (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{ua1} \times r_{ua1}) - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2})$$

$$(F_{La1} \times r_{La1}) = (W_{arm1} \times r_{a1}) + (W_{ua1} \times r_{ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})$$

$$F_{La1} = [(W_{arm1} \times r_{a1}) + (W_{ua1} \times r_{ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{La1})$$

$$F_{La1} = [(3,95)(9 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + (3)(18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ)] / (13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ)$$

$$F_{La1} = \frac{2657,4}{25,47}$$

$$= 104,3 \text{ N}$$

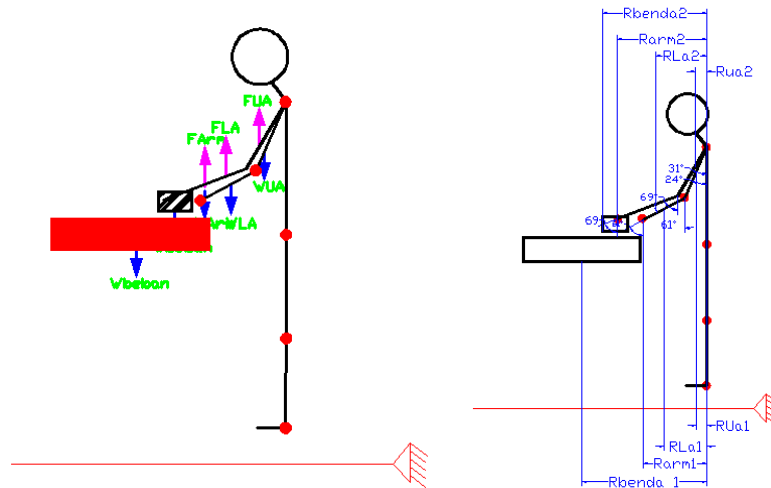
*commit to user*



Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm* 1 kanan) didapatkan gaya sebesar 104,3 N.

### c. Gaya pada upper arm 1

Komponen penyusun gaya tiap segmen *upper arm* 1 pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.56 Free body diagram gaya pada upper arm 1 (kanan)

Perhitungan gaya pada *upper arm* 1 (kanan) elemen kerja 1, sebagai berikut:

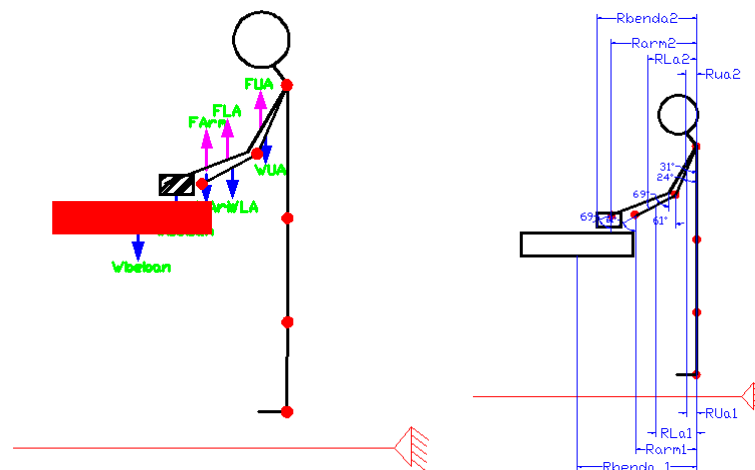
$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm1} \times r_{arm1}) - (W_{arm2} \times r_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times r_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) &= (W_{arm1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm2} \times r_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times r_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 F_{Ua1} &= [(W_{arm1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm2} \times r_{arm2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times r_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{Ua1}) \\
 F_{Ua1} &= [(3,95)(9 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (21, \sin 0^\circ) + (10) (20,42 + 18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ \\
 & + 18 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ + 42 \\
 & \sin 0^\circ) + ((3)(18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + \\
 & 42 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ)] / (12,5 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 F_{Ua1} &= \frac{2297,5}{13,43} \\
 &= 171,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua1}$  (gaya pada *upper arm* 1 kanan) didapatkan gaya sebesar 171,3 N.

#### d. Gaya pada arm 2 (kiri)

Komponen penyusun gaya tiap segmen *arm* 2 (kiri) pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.57 Free body diagram gaya pada arm 2 (kiri)

Perhitungan gaya pada *arm* 2 (kiri) elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) \\
 &\quad - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) \\
 &\quad - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + \\
 &\quad (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 \\
 &\quad (W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) - \\
 &\quad (W_{benda2} \times r_{beban2})
 \end{aligned}$$

*commit to user*

$$\text{Farm 2} = [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (R_{arm\ 2})$$

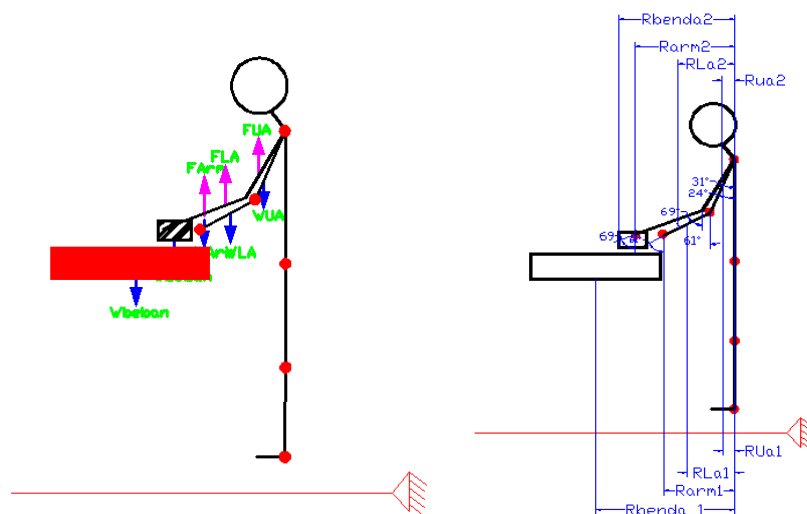
$$\begin{aligned} \text{Farm 2} &= [(3,95)(9 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + (18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + (3)(18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ)] / (9 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Farm 2} &= \frac{2719}{46,48} \\ &= 58,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 2 (gaya pada *arm 2* kiri) didapatkan gaya sebesar 58,4 N.

#### e. Gaya pada lower arm 2

Komponen penyusun gaya tiap segmen *lower arm 2* (kiri) pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.58 Free body diagram gaya pada lower arm 2 (kiri)

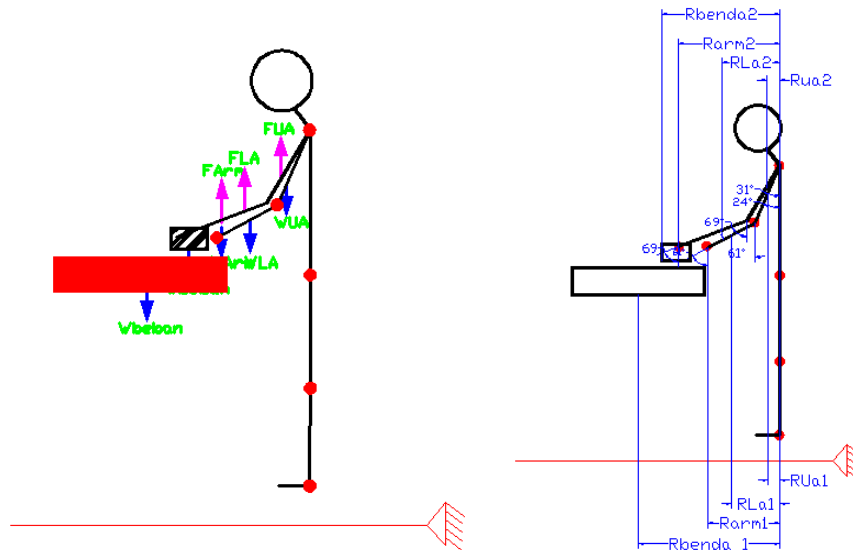
Perhitungan gaya pada *lower arm* 2 (kiri) elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{La2} \times r_{La2}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - \\
 &\quad (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) \\
 &\quad - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{La2} \times r_{La2}) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + \\
 &\quad (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) \\
 &\quad + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 F_{La2} &= [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times \\
 &\quad R_{arm\ 2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2 \\
 &\quad (W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{La2}) \\
 F_{La2} &= [(3,95)(9 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16) \\
 &\quad (13,5 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 24^\circ + \\
 &\quad 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin \\
 &\quad 0^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + 2 \\
 &\quad (18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10) \\
 &\quad (20,42 + 18 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 18 \sin 69^\circ + 27 \\
 &\quad \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + (3)(18 \\
 &\quad \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ + 41 \sin \\
 &\quad 0^\circ)] / (13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 F_{La2} &= \frac{2618,3}{25,47} \\
 &= 102,7N
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{La2}$  (gaya pada *lower arm* 2 kiri) didapatkan gaya sebesar 102,7 N.

### f. Gaya pada upper arm 2

Komponen penyusun gaya tiap segmen *upper arm 2* (kiri) pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.59 Free body diagram gaya pada upper arm 2( kiri)**

Perhitungan gaya pada *upper arm 2* (kiri) elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) \\
 &\quad - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) \\
 &\quad - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{ua2} \times r_{ua2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 F_{ua2} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T)] / (r_{ua2}) \\
 F_{ua2} &= [(3,95)(9 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 61^\circ \\
 &\quad + 25 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 24^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 69^\circ \\
 &\quad + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ \\
 &\quad + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42)
 \end{aligned}$$



$$+ 18 \sin 61^\circ + 27 \sin 61^\circ + 25 \sin 24^\circ + 18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + (3)(18 \sin 69^\circ + 27 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ)] / (12,5 \sin 69^\circ + 45 \sin 0^\circ)$$

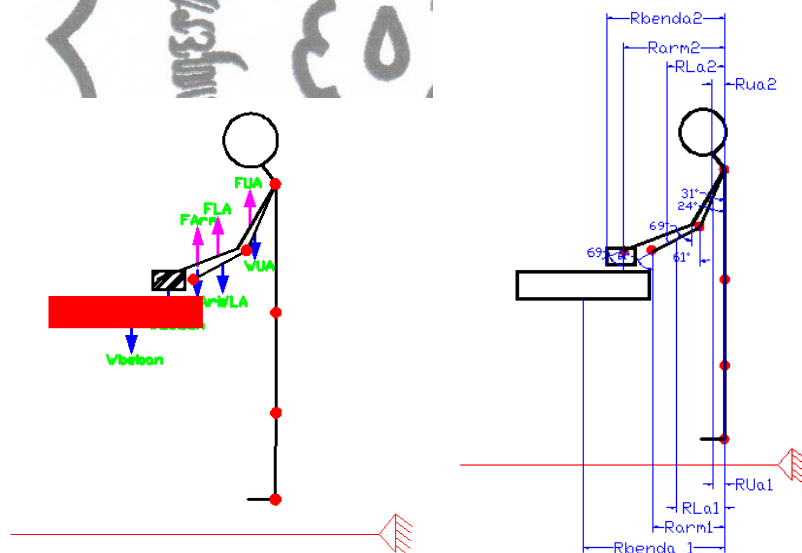
$$F_{ua2} = \frac{2195,6}{11,66}$$

$$= 188,3 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua2}$  (gaya pada *upper arm* 2 kiri) didapatkan gaya sebesar 188,3 N.

#### g. Gaya Pada Badan

Komponen penyusun gaya tiap segmen badan pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.60 Free body diagram gaya pada badan**

Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 2, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

karena jarak pada badan = tidak ada,  
maka,

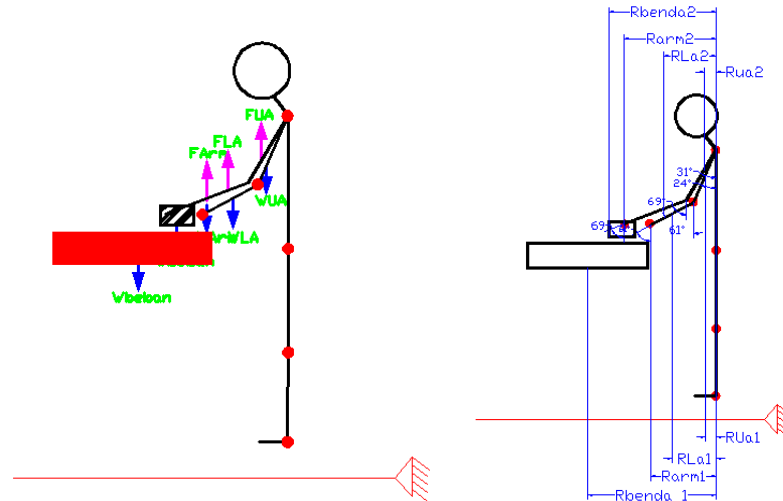
$$F_{torso} = \text{tidak ada N}$$

Hasil perhitungan  $F_{torso}$  (gaya pada badan) tidak terdapat gaya yang terjadi.

*commit to user*

### h. Gaya pada Shank

Komponen penyusun gaya tiap segmen *shank* pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.61 Free body diagram gaya pada shank

Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 2, sebagai berikut:

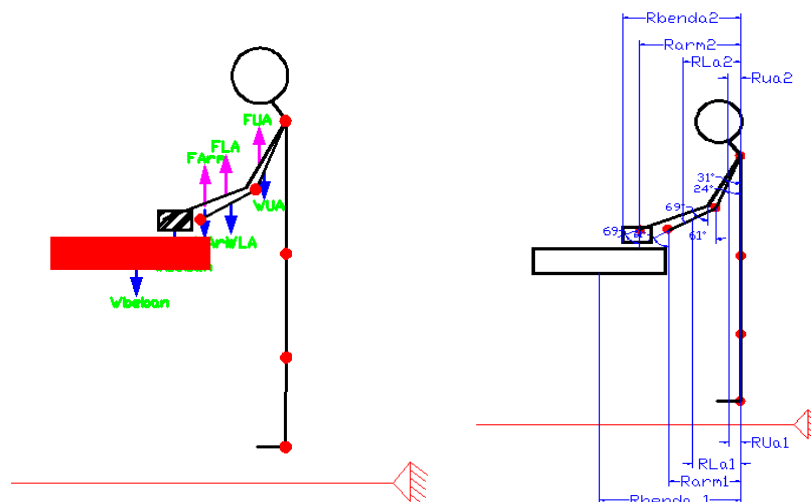
$\sum M_{Hip} = 0$ , karena jarak pada *shank* = tidak ada, maka

$F_{shank} = \text{tidak ada}$

Hasil perhitungan  $F_s$  (gaya pada *shank*) tidak terdapat gaya yang terjadi.

### i. Gaya pada Thight

Komponen penyusun gaya tiap segmen *thight* pada elemen kerja 2 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.62 Free body diagram gaya pada thigh

Perhitungan gaya pada *thight* elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

karena jarak pada *thight* = tidak ada,

maka,

$$F_{thight} = \text{tidak ada}$$

Hasil perhitungan  $F_T$  (gaya pada *thight*) tidak terdapat gaya yang terjadi.

### 3. Elemen Kerja Perbaikan 3 : Posisi Operator Menggerinda

Sudut yang terbentuk pada segmen tubuh untuk elemen kerja 3 ditampilkan dalam tabel 4.17.

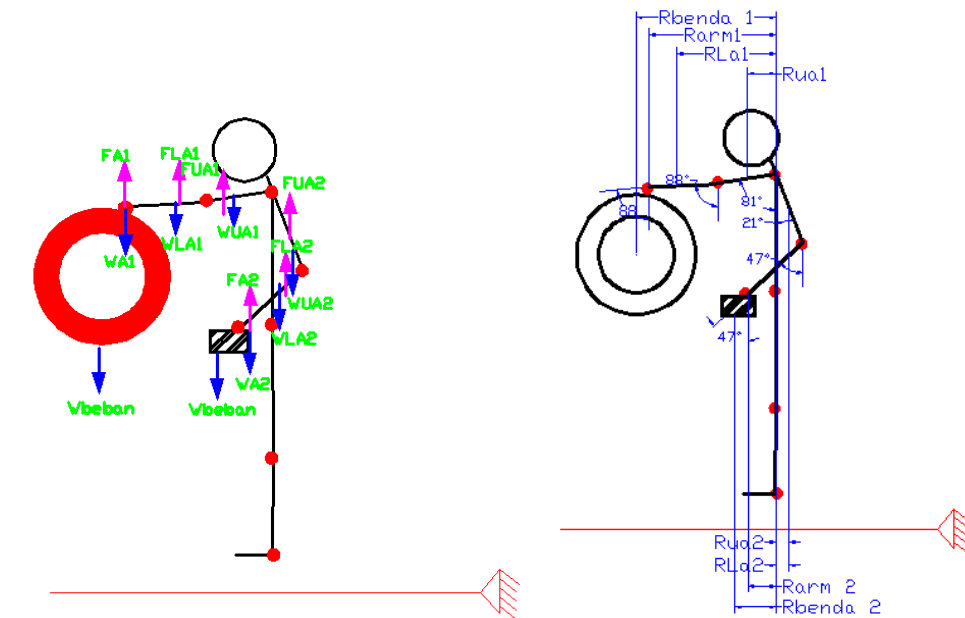
**Tabel 4.17 Sudut segmen tubuh elemen kerja 3**

Segmen tubuh	sudut terbentuk
<i>Arm right</i>	88°
<i>Arm left</i>	47°
<i>Lower arm right</i>	88°
<i>Lower arm left</i>	47°
<i>Upper arm right</i>	81°
<i>Upper arm left</i>	21°
<i>Torso</i>	0°
<i>Thigh</i>	0°
<i>Shank</i>	0°

Pada tabel 4.17 terdapat sudut tiap segmen tubuh yang digunakan untuk menghitung gaya sesuai *free body diagram*.

### a. Gaya pada arm 1 (kanan)

Komponen penyusun gaya tiap segmen pada *arm 1* pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.63 Free body diagram gaya pada arm 1 (kanan)**

Perhitungan gaya pada arm 1 (kanan) elemen kerja 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (\text{Farm 1} \times \text{Rarm 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (\text{Warm 2} \times \text{Rarm 2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2 \\
 &\quad (W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (\text{Farm 1} \times \text{Rarm 1}) &= (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (\text{Warm 2} \times \text{Rarm 2}) - \\
 &\quad (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 ( \\
 &\quad W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 \text{Farm 1} &= [(W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (\text{Warm 2} \times \text{Rarm 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2 (W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + \\
 &\quad (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (\text{Rarm 1}) \\
 \text{Farm 1} &= [(11,16) (13,5 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90) (12,5 \sin \\
 &\quad 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95) (9 \sin 47^\circ + 27 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \\
 &\quad \sin 0^\circ) - (11,16) (13,5 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) - (19,90)
 \end{aligned}$$

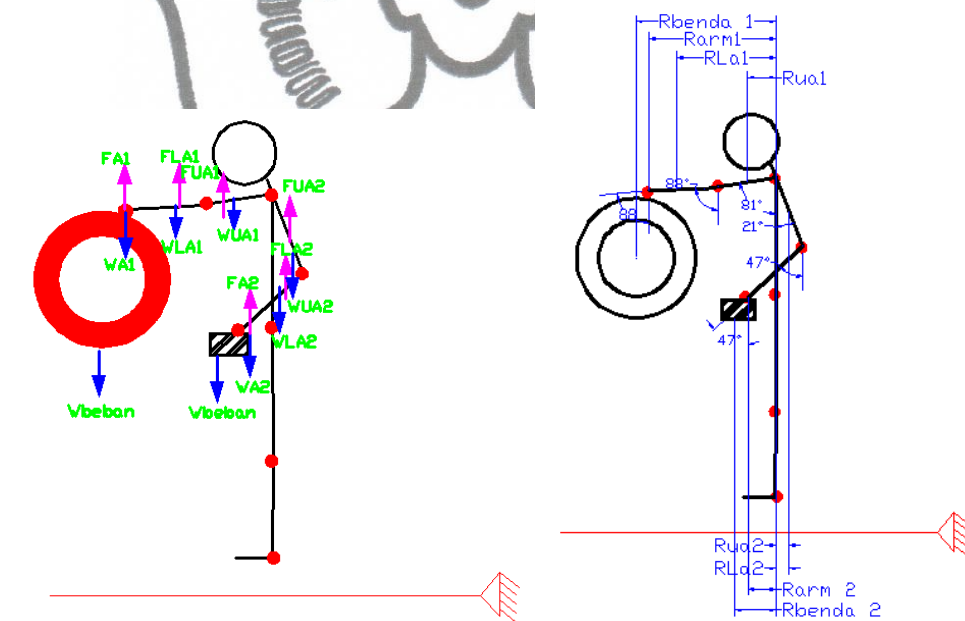
$$\begin{aligned}
 & (12,5 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03) (22,5 \sin 0^\circ) + 2 (18,36) \\
 & (20,5 \sin 0^\circ + 42 \sin 0^\circ) + 2 (42,68) (21 \sin 0^\circ) + (10) (20,42 + 18 \\
 & \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) + \\
 & (3)(18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) / (9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 21^\circ + \\
 & 45 \sin 0^\circ)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Farm 1} &= \frac{2011,3}{44,93} \\
 &= 44,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 1 (gaya pada *arm* kanan) didapatkan gaya sebesar 44,76 N.

#### b. Gaya pada lower arm 1

Komponen penyusun gaya tiap segmen *lower arm* 1 pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.64 Free body diagram gaya pada lower arm 1( kanan)**

Perhitungan gaya pada *lower arm* 1 (kanan) elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm 1} \times R_{arm 1}) - (W_{ua1} \times r_{ua1}) - (W_{arm 2} \times \\
 &R_{arm 2}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2 \\
 & (W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2})
 \end{aligned}$$



$$(F_{La1} \times r_{La1}) = (W_{arm\ 1} \times r_{a1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua2}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})$$

$$F_{La1} = [(W_{arm\ 1} \times r_{a1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda} \times r_{beban}) + (W_{benda} \times r_{beban})] / (r_{La1})$$

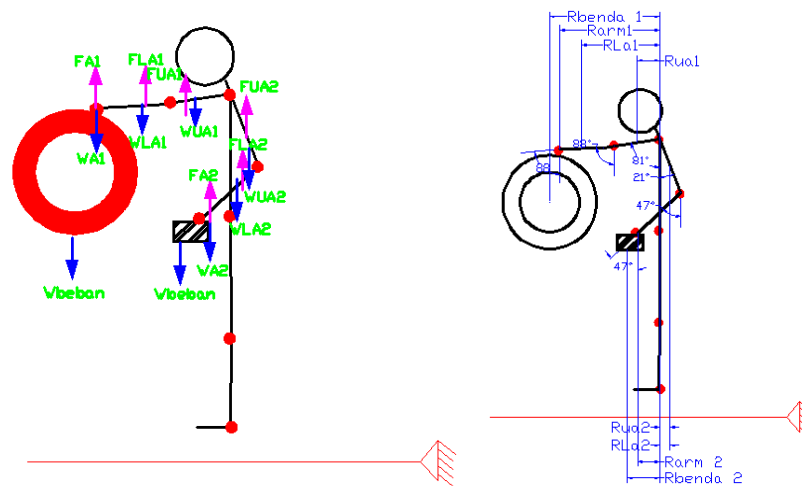
$$F_{La1} = [(3,95)(9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 47^\circ + 27 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) - (19,90)(12,5 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) + (3)(18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ)] / (9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) / (13,5 \sin 69^\circ + 25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ)$$

$$F_{La1} = \frac{1824,8}{25,47} = 71,64 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{La1}$  (gaya pada *lower arm* 1 kanan) didapatkan gaya sebesar 71,64 N.

### c. Gaya pada upper arm 1

Komponen penyusun gaya tiap segmen *upper arm* 1 pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.65 Free body diagram gaya pada upper arm 1 (kanan)**

Perhitungan gaya pada *upper arm* 1 (kanan) elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum M_{Hip} &= 0 \\
 &= (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (F_{La1} \times r_{La1}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) \\
 &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 (F_{Ua1} \times r_{Ua1}) &= (W_{arm\ 1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
 F_{Ua1} &= [(W_{arm\ 1} \times r_{a1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) \\
 &\quad - (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
 &\quad + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{Ua1}) \\
 F_{Ua1} &= [(3,95)(9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 88^\circ \\
 &\quad + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 47^\circ + 27 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 &\quad + (11,16)(13,5 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 &\quad + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) \\
 &\quad + (10)(20,42 + 18 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) \\
 &\quad + (3)(18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ)] / (9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 &\quad / (25 \sin 31^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
 F_{Ua1} &= \frac{2005,3}{12,8}
 \end{aligned}$$

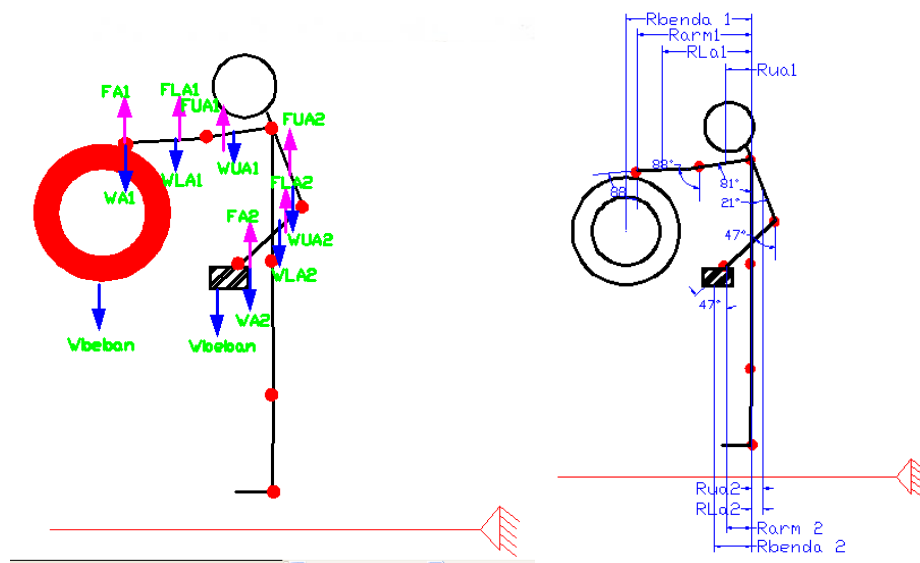
*commit to user*

$$= 156,6 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{Ua1}$  (gaya pada *upper arm* 1 kanan) didapatkan gaya sebesar 156,6 N.

#### d. Gaya pada arm 2 (kiri)

Komponen penyusun gaya tiap segmen *arm* 2 (kiri) pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.66 Free body diagram gaya pada arm 2 (kiri)**

Perhitungan gaya pada *arm* 2 (kiri) elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

$$= (F_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2})$$

$$(F_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) = (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2})$$

$$F_{arm\ 2} = [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (R_{arm\ 2})$$

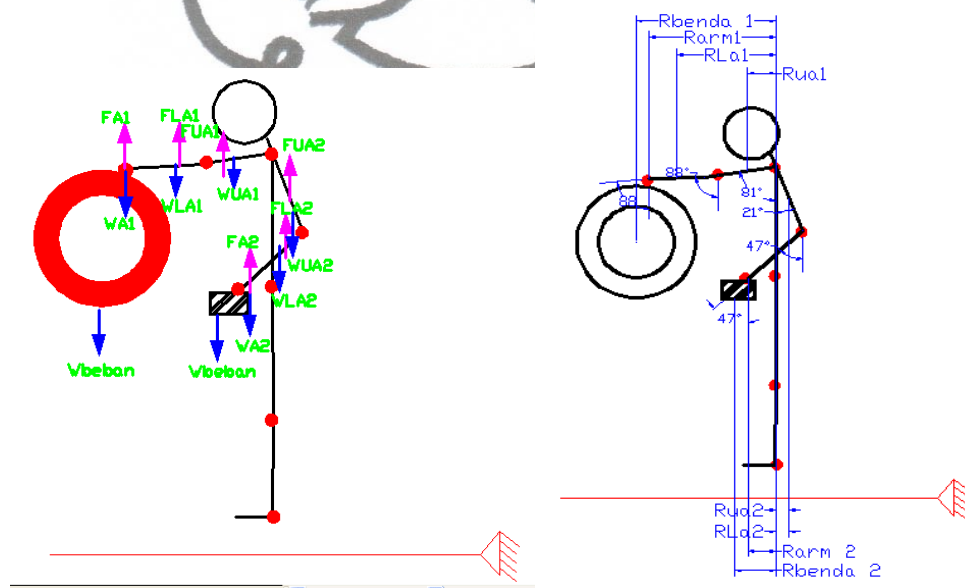
$$\begin{aligned} \text{Farm 2} &= [(3,95)(9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16) \\ &\quad (13,5 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,90)(12,5 \sin 81^\circ + 45 \\ &\quad \sin 0^\circ) - (11,16)(13,5 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,9) \\ &\quad (12,5 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) + (18,36)(20,5 \\ &\quad \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin \\ &\quad 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) + (3)(18 \\ &\quad \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ)] / (9 \sin 47^\circ + 27 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \\ &\quad \sin 0^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Farm 2} &= \frac{2111,6}{35,28} \\ &= 59,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan Farm 2 (gaya pada *arm* 2 kiri) didapatkan gaya sebesar 59,8 N.

**e. Gaya pada lower arm 2**

Komponen penyusun gaya tiap segmen *lower arm* 2 (kiri) pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.67 Free body diagram gaya pada lower arm 2( kiri)**

Perhitungan gaya pada *lower arm* 2 (kiri) elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\sum \mathbf{M}_{Hip} = 0$$

*commit to user*

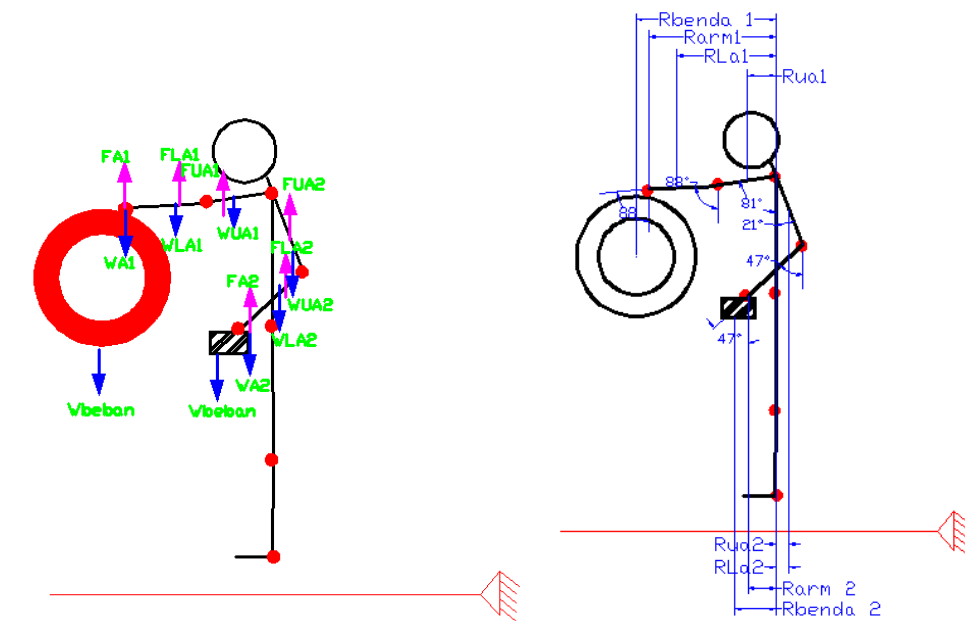
$$\begin{aligned}
&= (F_{La2} \times r_{La2}) - (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) - \\
&\quad (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) - (W_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) \\
&\quad - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
(F_{La2} \times r_{La2}) &= (W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + \\
&\quad (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) \\
&\quad + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2}) \\
F_{La2} &= [(W_{arm\ 1} \times R_{arm\ 1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm\ 2} \times R_{arm\ 2}) \\
&\quad + (W_{ua2} \times r_{ua2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) \\
&\quad + (W_{benda2} \times r_{beban2})] / (r_{La2}) \\
F_{La2} &= [(3,95)(9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 88^\circ \\
&\quad + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (19,9)(12,5 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 47^\circ \\
&\quad + 27 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) - (19,9)(12,5 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) \\
&\quad + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ \\
&\quad + 25 \sin 81^\circ + 18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) + (3)(18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ)] / (13,5 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\
F_{La2} &= \frac{2331,9}{18,8} \\
&= 124\text{ N}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $F_{La2}$  (gaya pada *lower arm* 2 kiri) didapatkan gaya sebesar 124 N.

#### f. Gaya pada upper arm 2

Komponen penyusun gaya tiap segmen *upper arm* 2 (kiri) pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,





**Gambar 4.68 Free body diagram gaya pada upper arm 2( kiri)**

Perhitungan gaya pada *upper arm* 2 (kiri) elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sum M_{Hip} &= 0 \\ &= (F_{ua2} \times r_{ua2}) - (W_{arm1} \times R_{arm1}) - (W_{La1} \times r_{La1}) - (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) \\ &\quad - (W_{arm2} \times R_{arm2}) - (W_{La2} \times r_{La2}) - (W_{torso} \times R_{torso}) - 2(W_s \times r_s) - 2(W_T \times r_T) - (W_{benda1} \times r_{beban1}) - (W_{benda2} \times r_{beban2})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(F_{ua2} \times r_{ua2}) &= (W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\ &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T) + (W_{benda1} \times r_{beban1}) + (W_{benda2} \times r_{beban2})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{ua2} &= [(W_{arm1} \times R_{arm1}) + (W_{La1} \times r_{La1}) + (W_{Ua1} \times r_{Ua1}) + (W_{arm2} \times R_{arm2}) \\ &\quad + (W_{La2} \times r_{La2}) + (W_{torso} \times R_{torso}) + 2(W_s \times r_s) + 2(W_T \times r_T)] / (r_{ua2})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{ua2} &= [(3,95)(9 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (11,16)(13,5 \sin 88^\circ + 25 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\ &\quad + (19,90)(12,5 \sin 81^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (3,95)(9 \sin 47^\circ + 27 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) \\ &\quad + (11,16)(13,5 \sin 47^\circ + 25 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ) + (55,03)(22,5 \sin 0^\circ) \\ &\quad + 2(18,36)(20,5 \sin 0^\circ + 41 \sin 0^\circ) + 2(42,68)(21 \sin 0^\circ) + (10)(20,42 + 18 \sin 88^\circ + 27 \sin 88^\circ +\end{aligned}$$

*commit to user*

$$25 \sin 81^\circ + 18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ + (3)(18 \sin 47^\circ + 13,5 \sin 47^\circ) / (12,5 \sin 21^\circ + 45 \sin 0^\circ)$$

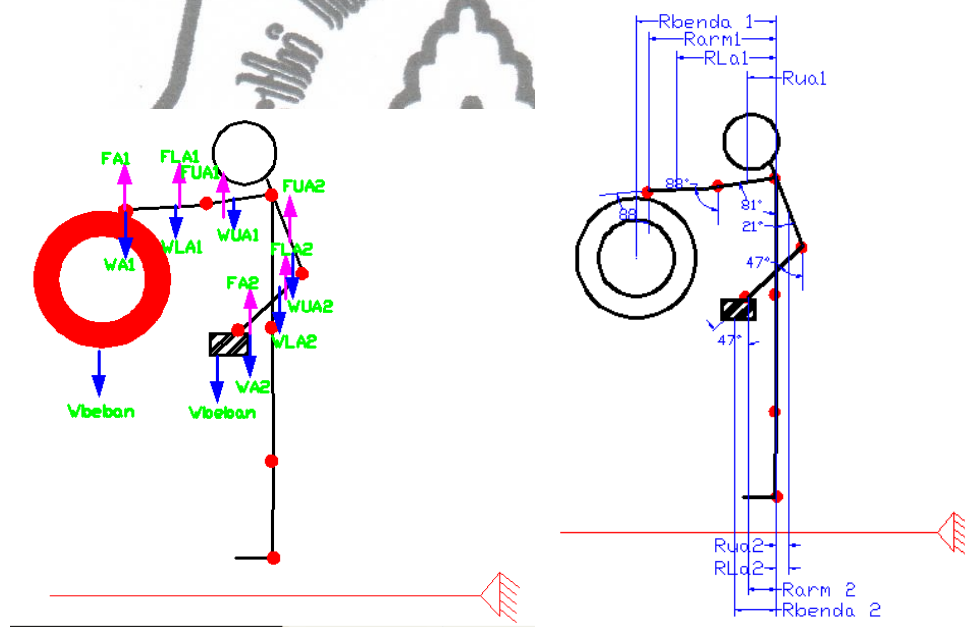
$$F_{ua2} = \frac{2205,9}{11,47}$$

$$= 192,3 \text{ N}$$

Hasil perhitungan  $F_{ua2}$  (gaya pada *upper arm 2* kiri) didapatkan gaya sebesar 192,3 N.

#### g. Gaya Pada Badan

Komponen penyusun gaya tiap segmen badan pada elemen kerja 1 dipaparkan sebagai berikut,



**Gambar 4.69 Free body diagram gaya pada badan**

Perhitungan gaya pada badan elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

karena jarak pada badan = tidak ada,

maka,

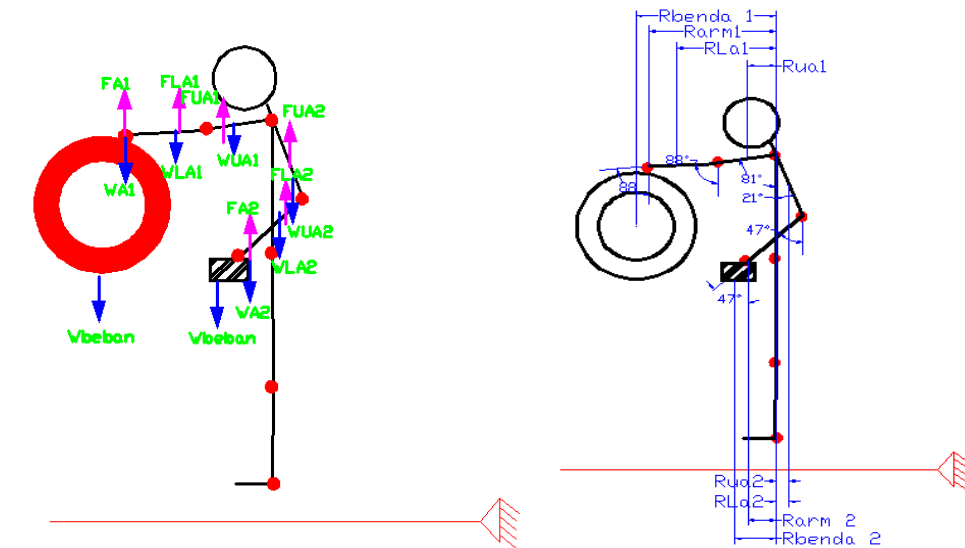
$$F_{torso} = \text{tidak ada}$$

Hasil perhitungan  $F_{torso}$  (gaya pada badan) tidak terdapat gaya yang terjadi.

*commit to user*

### h. Gaya pada Shank

Komponen penyusun gaya tiap segmen *shank* pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.70 Free body diagram gaya pada shank

Perhitungan gaya pada *shank* elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

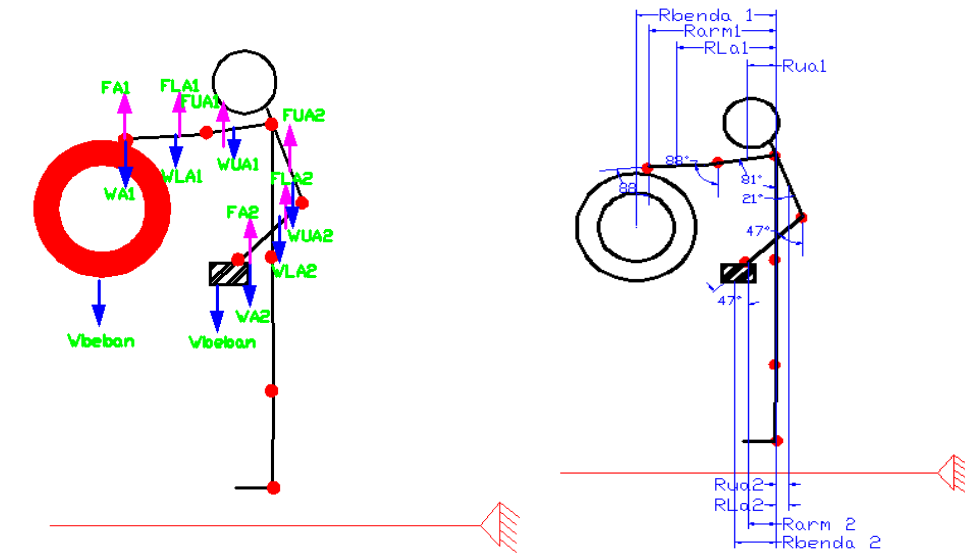
karena jarak pada badan = tidak ada,  
maka,

$$F_{shank} = \text{tidak ada}$$

Hasil perhitungan  $F_{shank}$  tidak terdapat gaya yang terjadi.

### i. Gaya pada Thight

Komponen penyusun gaya tiap segmen *thight* pada elemen kerja 3 dipaparkan sebagai berikut,



Gambar 4.71 Free body diagram gaya pada thigh

Perhitungan gaya pada *thight* elemen kerja 3, sebagai berikut:

$$\sum M_{Hip} = 0$$

karena jarak pada thigh = tidak ada,  
maka,

$$F_{thight} = \text{tidak ada}$$

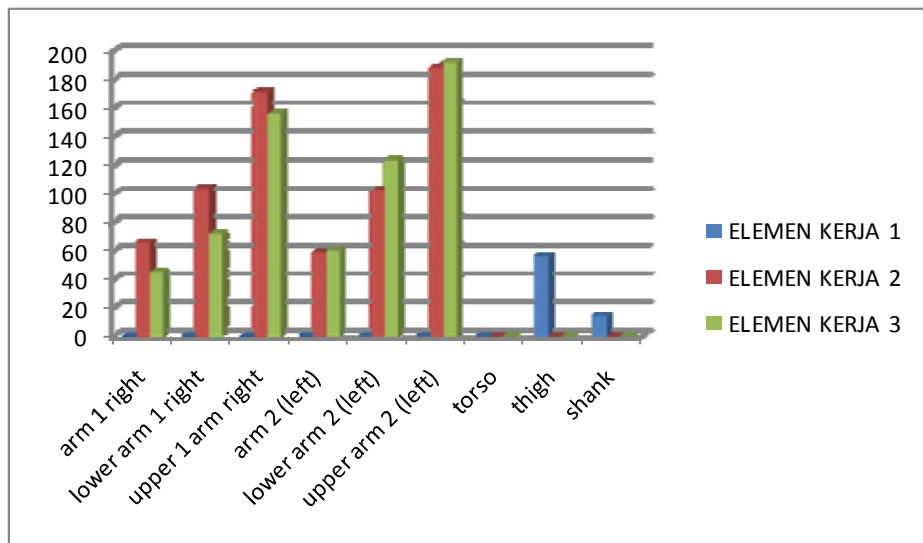
Hasil perhitungan  $F_{torso}$  (gaya pada thigh) tidak terdapat gaya yang terjadi.

Hasil perhitungan keseluruhan gaya yang terjadi tiap elemen kerja ditampilkan dalam tabel 4.18 berikut ini.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Setelah Perbaikan

SEGMENT TUBUH	ELEMEN KERJA 1	ELEMEN KERJA 2	ELEMEN KERJA 3
<i>arm 1 right</i>	0	65.8	44.76
<i>lower arm 1 right</i>	0	104.3	71.64
<i>upper 1 arm right</i>	0	171.3	156.6
<i>arm 2 (left)</i>	0	58.4	59.8
<i>lower arm 2 (left)</i>	0	102.7	124
<i>upper arm 2 (left)</i>	0	188.3	192.3
<i>torso</i>	0	0	0
<i>thigh</i>	55.9	0	0
<i>shank</i>	14.3	0	0

Untuk memudahkan membaca gaya yang terjadi pada tiap elemen kerja disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.67 di bawah ini.



**Gambar 4.72 Grafik gaya yang terjadi tiap elemen kerja setelah perbaikan**

## BAB V

### ANALISIS DAN INTEPRETASI HASIL

Analisis dan intepretasi hasil penelitian bertujuan untuk menjelaskan hasil pengolahan data perancangan alat bantu pekerjaan penghalusan benda kerja *pulley* pada stasiun kerja *finishing* di PT Bonjor Jaya. Analisis dalam penelitian ini diuraikan pada sub bab berikut ini.

#### 5.1 ANALISIS FASILITAS KERJA

Kondisi fasilitas kerja awal yang terdapat di PT. Bonjor Jaya pada aktivitas penghalusan, tidak memperhitungkan posisi dudukan benda kerja *pulley* terhadap ukuran *pulley* dan berat *pulley*, sehingga ketika melakukan aktivitas penghalusan, operator mengalami keluhan-keluhan di sebagian segmen tubuhnya. Kedudukan meja dudukan benda kerja *pulley* terlalu rendah yaitu hanya 50 cm terhadap lantai, sehingga operator sering membungkuk untuk melakukan aktivitas penghalusan. Kondisi seperti ini cenderung mengakibatkan adanya keluhan muskuloskeletal. Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama, akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan inilah yang disebut dengan keluhan muskuloskeletal disorders (MSDs) atau cedera pada sistem muskuloskeletal. Secara garis besar keluhan otot dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

1. Keluhan sementara (*reversible*), yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan.
2. Keluhan Menetap (*persistent*), yaitu keluhan otot yang bersifat menetap. Walaupun pembebanan kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih terus berlanjut.

Keluhan otot skeletal terjadi pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. *commit to user* Sebaliknya, keluhan otot kemungkinan tidak terjadi



apabila kontraksi otot hanya berkisar antara 15-20% dari kekuatan otot maksimum. Namun apabila kontraksi otot melebihi 20% maka peredaran darah ke otot berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang menyebabkan timbulnya rasa nyeri otot.

Menurut Peter Vi (2000) yang dikutip Aisah (2007), menjelaskan bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keluhan otot skeletal, yaitu :

1. Peregangan otot yang berlebihan.

Peregangan otot yang berlebihan (*over exertion*) pada umumnya sering dikeluhkan oleh pekerja dimana aktivitas kerjanya menuntut pengerahan tenaga yang besar seperti aktivitas mendorong, mengangkat, menarik dan menahan beban yang berat. Peregangan otot yang berlebihan ini terjadi karena pengerahan tenaga yang diperlukan melampaui kekuatan optimum otot. Apabila hal ini sering terjadi maka dapat mempertinggi terjadinya keluhan otot, bahkan dapat menyebabkan terjadinya cedera otot skeletal.

2. Aktivitas berulang

Aktivitas berulang adalah pekerjaan yang dilakukan secara terus-menerus. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus-menerus tanpa memperoleh kesempatan untuk relaksasi.

3. Sikap kerja tidak alamiah

Sikap kerja tidak alamiah adalah sikap kerja yang menyebabkan posisi bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiah, misalnya pergerakan tangan terangkat, punggung terlalu membungkuk, dan sebagainya. Semakin jauh posisi tubuh dari pusat gravitasi tubuh, maka semakin tinggi resiko terjadinya keluhan otot skeletal. Sikap kerja yang tidak alamiah pada umumnya karena karakteristik tuntutan tugas, alat kerja dan stasiun kerja tidak sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan pekerja.

Tingkat resiko cidera pada aktivitas tersebut dapat diketahui dengan melakukan analisis segmen-segmen tubuh operator, mulai dari tangan hingga kaki yang secara teknis dengan melakukan penyebaran kuesioner *Nordic Body Map*.

Hasil kuesioner melalui *Nordic Body Map* terhadap 4 rangkaian elemen kerja menunjukkan bahwa ada enam segmen tubuh yang mengalami keluhan tertinggi dengan tingkat persentase lebih dari 50% yaitu yaitu pada segmen *torso* (punggung), *thigh* (paha), dan *shank* (betis).

## 5.2 DESAIN ALAT BANTU KERJA USULAN

Adanya kelemahan pada fasilitas meja dudukan benda kerja *pulley* pada kondisi awal, berupa keluhan-keluhan tubuh operator pada punggung, tangan, dan kaki, maka perlu dilakukan perbaikan fasilitas pada meja dudukan benda kerja *pulley*. Perancangan meja dudukan benda kerja *pulley* diawali dengan pengukuran dimensi meja yang disesuaikan dengan anthropometri tubuh, sehingga operator dapat menyesuaikan ketinggian meja sesuai dengan kenyamanan operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan. Jadi operator tidak membungkuk pada saat melakukan aktivitas penghalusan dan posisi operator dapat menetralkan gaya yang terjadi pada *torso* (punggung), *thigh* (paha), dan *shank* (betis).

## 5.3 ANALISIS GAYA DAN ASSESSMENT POSTUR KERJA OPERATOR

Dari gambar 4.45 terlihat besarnya nilai gaya yang terjadi terhadap empat elemen kerja di tiap segmen tubuh operator setelah melalui *assessment* biomekanik. Dari grafik 4.45 terlihat bahwa segmen tubuh yang memiliki nilai gaya yang paling besar yaitu terdapat pada segmen punggung (*torso*), paha (*thigh*), dan betis (*shank*). Hal ini terjadi karena jarak antara titik acuan yaitu pada hip punggung (*torso*), paha (*thigh*), dan betis (*shank*) berdekatan. Kemudian posisi operator yang membungkuk sehingga gaya yang ditimbulkan besar dibanding dengan gaya pada segmen tubuh yang lainnya. Dalam biomekanik dan berdasarkan *nordic body map* posisi seperti ini dapat menyebabkan keluhan *musculoskeletal* (otot) karena gerakan yang repetitive (berulang) dan aktivitas dilakukan secara statis sehingga timbul ketidaknyamanan operator dalam melakukan aktivitas penghalusan.

Nilai gaya yang terjadi setelah perbaikan didapatkan bahwa gaya yang terjadi pada elemen kerja 1 (posisi operator pada saat menaikkan meja) hanya terdapat pada *shank* kanan dan *thigh* kiri, hal ini terjadi karena posisi tubuh

operator tegak lurus sehingga jarak yang terjadi pada *arm* (tangan), *torso* (badan), *thigh* (paha) bagian kiri dan *shank* (betis) bagian kiri adalah nol sehingga tidak ada gaya yang terjadi. Sedangkan pada elemen kerja 2 (posisi operator pada saat menghaluskan *pulley*) dan elemen kerja 3 (posisi operator pada saat membalikkan *pulley* dan menghaluskan pada sisi samping) gaya yang terjadi hanya terdapat pada bagian *arm* (tangan) hal ini dikarenakan tangan masih bergerak pada saat melakukan aktivitas dan dilakukan secara manual, tetapi gaya yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan gaya sebelum perbaikan, hal ini terjadi karena jarak *arm* (tangan) ke titik pusat (*hip*) lebih jauh dibanding dengan jarak *arm* sebelum perbaikan yang lebih dekat.

Kemudian gaya yang terjadi pada *torso* (badan), *thigh* (paha) dan *shank* (betis) tidak ada karena jarak yang terjadi pada *torso* (badan), *thigh* (paha) dan *shank* (betis) sama dengan nol. Simulasi desain perbaikan dilakukan dengan menggunakan *software* blender dan setelah melalui simulasi posisi postur tubuh operator pada saat melakukan aktivitas penghalusan dapat mengurangi gaya yang terjadi dalam tubuh operator sehingga menurut biomekanik dan berdasarkan *nordic body map* perancangan meja duduk benda kerja *pulley* yang baru diharapkan dapat mengurangi keluhan yang terjadi pada otot (*musculoskeletal*).

#### A. Penelitian Yang Belum Dikaji Dalam Pembuatan Perancangan

Pembuatan perancangan ini memiliki beberapa kelemahan yang dimana kelemahan-kelemahan tersebut mungkin bisa menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya, adapun kelemahan-kelemahan yang terjadi yaitu:

##### 1. Penetapan pada tinggi siku berdiri

Dalam perancangan ini penggunaan data antropometri hanya menggunakan tinggi siku berdiri dimana posisi menggerinda tidak hanya pada posisi berdiri saja, akan tetapi penelitian ini hanya bertujuan menetralkan gaya yang terjadi pada bagian punggung, maka tinggi siku berdiri digunakan sebagai acuannya.

##### 2. Persamaan $\sum M = 0$

Persamaan yang dilakukan dalam perancangan ini digunakan persamaan  $\sum M = 0$  karena untuk gaya normal ( $F_N$ ) pada titik pusat acuan (*hip*) tidak

*commit to user*

diketahui dan tiap segmen memiliki jarak terhadap titik pusat acuan (*hip*). Itu mengapa dalam perhitungan ini tidak menggunakan  $\sum F = 0$ .

3. Tidak adanya batasan yang valid pada beban angkat di tiap segmen tubuh  
Perhitungan gaya yang dilakukan tiap segmen tubuh operator belum bisa dijadikan acuan bahwa operator mengalami pembebanan yang berlebihan. Hal ini dikarenakan belum adanya standarisasi yang menunjukkan beban maksimal di tiap segmen tubuh, sehingga pada penelitian ini bersifat kualitatif yaitu berdasarkan kuesioner *Nordic body map* untuk mengetahui segmen tubuh yang mengalami keluhan dan belum mengacu pada sudut kenyamanan.
4. Implementasi berupa simulasi dengan menggunakan *software blender*.  
Perbaikan yang dilakukan pada prancangan ini diwujudkan dengan simulasi *software blender* sehingga hasil prancangan ini belum bisa dinyatakan layak pakai karena belum diwujudkan secara nyata, tetapi melalui proses perhitungan secara matematis perbaikan ini bisa mengurangi gaya yang terjadi dalam tubuh operator sehingga keluhan bisa dikurangi.
5. Bidang referensi pada penelitian ini hanya menggunakan *sagital plane*, sehingga posisi operator masih kurang detail dan hanya terlihat pada sisi sagital.

#### **B. Kelebihan Dalam Perancangan**

Adapun beberapa kelebihan dalam perancangan ini sehingga dapat diaplikasikan dalam bentuk nyata, yaitu:

1. Gaya yang terjadi di tiap segmen tubuh berkurang atau dapat dinetralkan sehingga keluhan yang terjadi di dalam tubuh dapat diminimalisir.
2. Meja perancangan bersifat *adjustable* (dapat disesuaikan) tinggi dan rendahnya sehingga operator dapat menyesuaikan ketinggiannya sesuai kenyamanannya dalam melakukan penghalusan.

### **5.4 INTEPRETASI HASIL PENELITIAN**

Berdasarkan perhitungan biomekanika sebagai pendekatan untuk mengetahui pengeluaran gaya otot di setiap segmen tubuh operator yang

mengalami keluhan, didapatkan bahwa tubuh operator dalam kondisi beresiko terjadinya keluhan *musculoskeletal*. Hasil perhitungan biomekanika dikuatkan dengan hasil kuesioner *nordic body map* operator. Perbaikan sistem kerja di stasiun finishing dilakukan dengan melihat fasilitas kerja yang digunakan. Perancangan fasilitas kerja dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan *software* blender dan diharapkan dapat memperbaiki posisi kerja operator karena operator harus menyesuaikan dengan fasilitas yang digunakan. Berdasarkan rangkaian aktivitas yang menimbulkan masalah pada tubuh operator yaitu ketika menghaluskan, mengangkat, dan menurunkan *pulley*, maka perlu dirancang fasilitas yang dapat menghindari resiko keluhan *musculoskeletal* ketika melakukan aktivitas.

Rancangan fasilitas berupa desain meja dudukan benda kerja *pulley* yang kemudian disimulasikan melalui *software blender* sehingga diketahui posisi postur tubuh operator pada saat melakukan aktivitas menghaluskan. Berdasarkan pertimbangan biomekanika dalam analisis gaya dan posisi postur kerja setelah perbaikan sistem kerja, terjadi pengurangan gaya di tiap segmen tubuh operator, sedangkan posisi kerja operator tegak lurus dan tidak terdapat gaya yang terjadi pada *torso* (punggung), *thigh* (paha), dan *shank* (betis), sehingga posisi tubuh dinyatakan aman dan dapat mengurangi resiko keluhan.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, dijelaskan pada sub bab berikut ini.

#### 6.1 KESIMPULAN

Analisis terhadap permasalahan di stasiun finishing ketika melakukan aktivitas penghalusan dapat disimpulkan, yaitu:

1. Berdasarkan hasil analisis dengan *assessment* biomekanika di tiap segmen tubuh ternyata segmen pada punggung (*torso*), paha (*thigh*), dan betis (*shank*), ketika melakukan aktivitas penghalusan dalam kondisi awal didapatkan nilai gaya yang menyebabkan terjadinya keluhan *musculoskeletal* menurut NIOSH,
2. Perbaikan fasilitas kerja menunjukkan bahwa besarnya gaya pada ketiga segmen tubuh lebih kecil dibandingkan dengan gaya pada elemen kerja awal, sehingga keluhan *musculoskeletal* dapat dikurangi.
3. Perbaikan meja dudukan benda kerja *pulley* melalui simulasi *software* blender yang dapat memperbaiki posisi postur tubuh operator sehingga resiko terjadinya keluhan *musculoskeletal* bisa dikurangi sesuai dengan harapan operator.

#### 6.2 SARAN

Saran perbaikan yang dapat diberikan dari hasil penelitian, yaitu:

1. Penelitian lebih lanjut sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan aspek-aspek biomekanik yang lebih lengkap.
2. Pengembangan pada segmen tubuh agar lebih terperinci untuk dikaji dengan biomekanik pada penelitian lebih lanjut.